



Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

- + *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
- + *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
- + *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
- + *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página <http://books.google.com>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

COLUMBIA LIBRARIES OFFSITE



CU07535023



Science Seminar
EGLESTON



Columbia University
in the City of New York
Library



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
42681 Quai des Grands-Augustins, 55.

CORNELL
UNIVERSITY
LIBRARY

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS A ÉTÉ RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE LE 7 DÉCEMBRE 1886.

DEUXIÈME SÉRIE.
TOME IX. — ANNÉE 1909.



SIÈGE SOCIAL }
LABORATOIRE } 12 et 14, rue de Staël,
à Paris.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1909

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 6. — Quelques réflexions sur les systèmes de mesure (M. **Brylinski**), p. 9. — Discussion de la Communication de M. **Brylinski** (MM. **Boucherot**, **Pellat**, **Janet**, **Devaux-Charbonnel**), p. 20. — La situation actuelle du Système métrique (M. **Ch.-Ed. Guillaume**), p. 35. — L'usine de Saint-Denis (M. **Daniel Berthelot**), p. 47.

BIBLIOGRAPHIE, p. 48.

OUVRAGES OFFERTS, p. 51.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 6 janvier 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. P. BOUCHEROT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (*voir* p. 51) et des demandes d'admission suivantes :

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

- Argyropoulos** (Constantin), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 71, rue du Cardinal-Lemoine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Audoux** (Georges), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue du Château-Landon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Baudouin** (Édouard-Louis), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 51, rue Saint-Didier, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bellon** (Jean-Joseph-Marie), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Blaisse** (Laurent-Marie-Louis-Robert), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 16, avenue d'Orléans, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Boussion** (Roger), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 24, rue Mayet, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Caire** (Adolphe), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 55, boulevard Saint-Michel, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Campanakis** (Anastase), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 11, rue Monge, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Caraman** (Ernest de), Capitaine d'Artillerie, 3, avenue de l'Alma, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Chalmel** (Marie-Henri), Capitaine d'Artillerie, 27, boulevard Cotte, à Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Chardin** (André), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 38, rue Saint-Sulpice, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Cheillets** (Gaston), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Cheurlot** (Pierre), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 48, avenue Marceau, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Cochin** (Jean-Pierre-Denys-Marie), Officier de Marine, 53, rue de Babylone, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Combemale** (Henri-Jules), Licencié ès sciences, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 94, boulevard Flandrin, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Combemale** (Marcel), Licencié ès sciences, Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, Directeur de la *Société de l'Air filtré*, 94, boulevard Flandrin, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Coninck** (Marcel-Raymond de), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 18, rue de Grenelle, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Del Viniotti** (Jean-Marie), Ingénieur électricien, 43, avenue Victor-Hugo, à Paris. — Présenté par MM. Janin et Vinson.
- Dorido** (Ernest), Capitaine du Génie, 45, rue de Vouillé, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Doussot** (Antoine-Edmond-Eugène), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 6, rue Lalo, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Ducretet** (F.), Constructeur d'instruments de précision, 75, rue Claude-Bernard, à Paris. — Présenté par MM. Abraham et Ducretet.
- Dujardin** (Amédée), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 28, rue Vavin, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

MM.

Dupont-Bueche (Marc), Ingénieur à la *Société française Oerlikon*, 9, rue Pillet-Will, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et Raymond.

Ehrmann (Paul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 27, rue Cassette, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Gaudouin (François-Clément), Mécanicien principal de 1^{re} classe de la Marine, 28, avenue de Breteuil, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Gentet (Louis), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 121, rue Lecourbe, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Guérin (Pierre), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 4, rue Cambon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Kraushar (Julien), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 116, rue d'Assas, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Lecocq (Ferrand), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 74, rue d'Alésia, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Leson (Auguste-Marie), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Moulin (Marcel-André), Chef de travaux pratiques à l'*École de Physique et de Chimie*, 303, rue du Faubourg-Saint-Antoine, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et Langevin.

Negrie (Jacques), Auditeur libre à l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue Valentin-Haüy, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ordinaire (Jean-Eugène), Élève à l'*École pratique d'Électricité industrielle*, 3, rue de la République, à Saint-Mandé (Seine). — Présenté par MM. Gin et Petitalot.

Pichon (Georges), Ingénieur à la *Société des Ateliers électriques de Saint-Ouen*, 61, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Piroelle (Marcel), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 45, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Polack (Simon), 3, rue de l'Estrapade, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rios Cogollos (José), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 43, rue de Douai, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rodet (Joseph-Émile), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 49, rue de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Roger (E.). Constructeur d'instruments de précision, 28, rue Saint-Sulpice, à Paris. — Présenté par MM. Ducretet et Abraham.

Sauze (Eugène-Louis) Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 14, boulevard Pasteur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Tavernier (Charles), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 47, rue Claude-Bernard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Terrel (Louis-Charles-Joseph-Marie), Étudiant à l'*École supérieure d'Électricité*, 3 bis, rue Mizon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Vallée (Gabriel-Joseph de), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 3 bis, rue Mizon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT. — « Nous avons, Messieurs, un assez grand nombre de décès à déplorer parmi nos membres, dans le mois qui vient de s'écouler. Ce sont ceux de MM. *Aboilard*, le fabricant de câbles bien connu à Paris; *de Bovet*, que vous avez entendu plusieurs fois à cette tribune, bien connu pour sa compétence dans les questions de navigation maritime et fluviale, et créateur d'ingénieux appareils à adhérence magnétique; *Gillot*, *H. Limousin*, *H.-P. Martin*, ingénieur à Paris, et *C.-A. Vigreux* le collaborateur et associé de M. Brillié, qui réalisa avec lui divers appareils électriques et mécaniques intéressants.

» J'adresse les condoléances de la Société aux familles de ces collègues disparus. »

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LES SYSTÈMES DE MESURE.

M. BRYLINSKI. — « I. La décision du Conseil de la *Commission électrotechnique internationale* d'exprimer les mesures dans le système métrique ou le système G. G. S. me paraît appeler quelques réflexions.

» Cette décision oppose, en effet, l'un à l'autre ces deux systèmes de mesure; elle prouve que ses auteurs les considèrent comme deux systèmes distincts, rivaux en quelque sorte, entre lesquels il faut choisir. Il y a là une erreur qui pourrait entraver sérieusement les progrès de la propagande faite en faveur du système métrique dans les pays qui ne l'ont point encore entièrement adopté. Il importe donc de rétablir la situation réelle, c'est-à-dire que le système C. G. S. est simplement une *modalité* du système métrique. Je n'y insisterais pas autant, si je n'avais constaté que certains de nos collègues du *Comité électrotechnique français* partagent l'idée inexacte que reflète la récente décision de Londres et considèrent que les deux systèmes sont en opposition parce que le système métrique a comme unités fondamentales le mètre et le *kilogramme-poids*, tandis que le C. G. S. a comme unités fondamentales le centimètre, le *gramme-masse* et la seconde de temps moyen.

» Cependant, en France du moins, la vérité légale est sur ce sujet d'accord avec la vérité scientifique, car le décret du 28 juillet 1903, rendu en exécution de l'article 2 de la loi du 11 juillet 1903, qui vaut en la matière, a bien spécifié que le *kilogramme* est la *masse* du Prototype international. Le Tableau des mesures légales figurant à ce décret comprend le centimètre et le gramme, qui sont les unités de deux des grandeurs fondamentales du système C. G. S.; ce système rentre donc directement dans le système métrique et ne saurait en aucune façon être considéré comme un système susceptible d'être mis en opposition avec le système métrique. En d'autres termes, quand on écrit dans le système C. G. S., on n'abandonne pas le système métrique pour un autre, mais, bien au contraire, on écrit dans le système métrique, en prenant simplement, pour l'expression numérique plus commode de certaines grandeurs et pour

la cohérence des unités de longueur et de masse, des unités qui sont des sous-multiples légaux du mètre et du kilogramme.

» On dira peut-être que le système C. G. S. n'est pas une modalité du système métrique, parce que ce dernier ne prévoit aucune unité de temps. J'avoue ne pas comprendre nettement la valeur d'une pareille objection, qui s'évanouit en présence des textes. Si, en effet, quelque doute pouvait subsister, il serait immédiatement levé par une décision prise par la *Conférence générale des Poids et Mesures*, en sa séance du 22 octobre 1901, dont le texte est le suivant : « Le nombre adopté dans le Service international des Poids et Mesures, pour la valeur de l'accélération normale de la pesanteur, » est $980,665 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$, nombre sanctionné déjà par quelques législations (1). »

» On peut regretter que le système métrique ait adopté, en fait, la seconde sexagésimale; mais il faut reconnaître qu'il était bien difficile de faire autrement, en présence du peu de succès de tous les essais de division décimale du temps qui se sont produits. Quelle que soit, d'ailleurs, l'opinion qu'on ait à cet égard, le fait est acquis.

» La situation est, par conséquent, tout à fait nette en France. Dans les autres pays, elle n'est pas plus douteuse, car la troisième *Conférence générale des Poids et Mesures* a, dans cette même séance du 22 octobre, dont nous venons de parler, déclaré que « le » kilogramme est l'unité de masse; il est égal à la masse du Prototype international du kilogramme. »

» Il n'y a aucune ambiguïté dans cette déclaration. Peut-être cette manière de voir n'est-elle pas encore sanctionnée par la loi dans tous les pays qui emploient le système métrique, parce que les Parlements ne trouvent pas toujours le temps de s'occuper de questions aussi spéciales; elle est, en tout cas, la vérité scientifique devant laquelle la *Commission électrotechnique internationale* n'hésitera certainement pas à s'incliner.

(1) Ces renseignements sur la loi et le décret de juillet 1903, ainsi que sur la Conférence de 1901, sont tirés d'un important travail de M. R. Benoit, directeur du Bureau international des Poids et Mesures, qui m'a été très aimablement communiqué par M. Ch.-Ed. Guillaume, directeur adjoint de ce Bureau, dont nous connaissons tous l'inlassable et efficace propagande en faveur du Système métrique.

» II. L'adjonction des mots « système C. G. S. » dans la résolution du Conseil de la Commission a, d'ailleurs, un autre inconvénient : c'est d'être insuffisant par lui-même, car, si nous employons le système « électromagnétique C. G. S. » pour les grandeurs magnétiques, c'est le système « électromagnétique pratique », qui en est très différent, que nous utilisons pour les grandeurs électriques. Il résulte d'ailleurs de là une incohérence et des complications qu'il faudra faire disparaître un jour ou l'autre. Cette tâche deviendra, à un moment donné, indispensable et même urgente ; mais elle n'est pas urgente en ce moment. De telles difficultés de tout ordre se sont révélées dans les diverses tentatives faites à cet égard, qu'il est préférable de l'ajourner, sans toutefois cesser d'y penser.

» Il semblerait utile de lier cette revision à la question de la décimalisation du temps. Il est, en effet, très anormal de conserver dans le système métrique, qui est essentiellement décimal, la division sexagésimale du temps. On a, sans difficulté, décimalisé les angles, et un système décimal du temps, harmonisé avec les *grades* de la circonférence, ne peut manquer d'aboutir à un moment donné. Il commencera probablement par la navigation et se répandra peu à peu sur le monde non marin. Il en résultera que toutes les unités électriques et magnétiques seront modifiées ; ce sera le vrai moment d'établir un système cohérent.

» III. Si nous en revenons au texte adopté par le Conseil de la Commission, nous voyons que l'adjonction explicite du système C. G. S. au système métrique dans la rédaction entraînerait nécessairement celle du système pratique, et cela ne suffirait pas encore. Si, en effet, les trois grandeurs fondamentales de la Mécanique suffisent dans cette branche de la Science, elles sont insuffisantes à exprimer en dimensions les autres grandeurs de la Physique et il a fallu, pour notre domaine, créer, au moyen d'hypothèses presque certainement inexactes, un système « électrostatique » et un système « électromagnétique » qui sont d'ailleurs incompatibles entre eux.

» Il ne sera peut-être pas inutile, au point de vue purement électrotechnique, de revenir un peu plus en détail sur cette question, au sujet de laquelle règnent beaucoup d'idées fausses.

» Les deux premières relations fondamentales trouvées dans notre domaine sont les lois de Coulomb sur les actions électriques et magnétiques, qui peuvent s'écrire en dimensions, en prenant comme grandeur auxiliaire la force mécanique

$$F = LMT^{-2}$$

pour simplifier l'écriture,

$$(1) \quad F = K \frac{Q^2}{L^2} \quad (\text{électricité})$$

et

$$(2) \quad F = K' \frac{P^2}{L^2} \quad (\text{magnétisme}).$$

» J'insiste sur les coefficients de proportionnalité, qui sont trop souvent omis. Ces lois sont des lois expérimentales, résultant de la constatation que, quand la quantité d'électricité ou de magnétisme dans les corps en action devient n fois plus forte ou plus petite, la force mécanique devient aussi n fois plus forte ou plus petite et que, quand c'est la distance, la force mécanique devient n^2 fois plus faible ou plus grande. La force est donc *proportionnelle* au produit des quantités et en raison inverse du carré des distances, mais on n'a pas le droit *a priori* de dire qu'elle est *égale* à ce produit divisé par le carré de la distance.

» Nous avons deux éléments inconnus, P et Q ; ces deux relations permettent d'exprimer leurs dimensions en fonction de L , M , T , K et K' .

» Puis sont survenues la découverte et l'étude des courants, qui ont permis d'établir les lois fondamentales de l'Électromagnétisme et de l'Électrodynamique, soit en dimensions

$$(3) \quad F = \frac{K'' P I}{L},$$

$$(4) \quad F = K'' P^2,$$

et il semblerait qu'il y ait quatre coefficients de proportionnalité de dimensions inconnues; mais on voit qu'on peut éliminer P et tirer I des équations (2) et (3) et qu'en substituant dans (4) on obtient K'' en fonctions de L , M , T , K' et K'' . Il ne reste donc que trois grandeurs inconnues.

» L'étape suivante fut franchie, lorsqu'à la suite de nombreuses expériences on identifia complètement, d'une part, le potentiel des piles voltaïques et le potentiel électrostatique et, d'autre part, la quantité d'électricité et l'intégrale du courant dans le temps, identifications dont l'une entraîne l'autre. Cette identification n'est peut-être pas entièrement certaine, au sens mathématique du mot, mais l'expérience l'a vérifiée dans tous les cas nombreux qui se sont présentés et dans toutes ses conséquences. On peut donc, au point de vue physique, la considérer comme acquise.

» On tire de là, en dimensions,

$$Q = IT,$$

ce qui, d'après (1), détermine I , et d'après (2) et (3) K'' en fonction de L , M , T , K et K' . Il ne reste plus, dès lors, que deux coefficients indéterminés, K et K' .

» De la possibilité pratique d'annuler les dimensions de l'un de ces deux coefficients, puisqu'elles sont inconnues, sont nés le système « électrostatique », où l'on annule celles de K , et le système « électromagnétique », où l'on annule celles de K' . Le système « pratique » n'est autre que le système électromagnétique, dans lequel on prend comme unités certains multiples ou sous-multiples des unités C. G. S.

» Les deux systèmes auraient pu sembler compatibles, malgré que cela soulevât de fortes objections, s'il ne s'était révélé une relation nouvelle : c'est que le rapport de la force magnétomotrice d'un circuit électrique au courant qui le traverse est une constante absolue, indépendante de la valeur du courant, de la nature du conducteur, des milieux entourant le conducteur et de toute autre circonstance connue. On en a conclu que ce rapport était de dimensions nulles ; cette conclusion n'est peut-être pas susceptible d'une démonstration mathématique, mais elle me paraît au moins aussi probable que, par exemple, le postulatum d'Euclide sur lequel est basée toute notre Géométrie.

» On en tire immédiatement une conséquence importante : de ce que le potentiel magnétique, multiplié par P , est par définition de l'énergie, soit en dimensions FL , on déduit immédiatement, puisque

ce potentiel a les mêmes dimensions que l'intensité de courant,

$$FL = PI,$$

et, en comparant avec (3), on voit immédiatement que

$$K'' = 1.$$

» Si, dès lors, on tire Q et par suite I de (1), puis P de (2) et qu'on substitue dans (3), on arrive à la relation de dimensions

$$KK' = L^2 T^{-2},$$

qui montre que le produit des deux coefficients restants a les dimensions du carré d'une vitesse et que, par conséquent, l'un des deux systèmes, électrostatique ou électromagnétique, est entaché d'erreur. L'étude de la manière dont se comportent les pouvoirs inducteurs spécifiques électriques et magnétiques tend d'ailleurs à faire admettre que ces systèmes sont tous deux faussés par la base.

» IV. On n'a pas, jusqu'à présent, trouvé d'autre relation entre K et K' , permettant de ramener les grandeurs électromagnétiques à L , M et T . Toutes les tentatives qu'on a faites dans cet ordre d'idées sont restées grevées d'hypothèses trop incertaines pour qu'on puisse les admettre pour le moment.

» On peut, dès lors, se demander si l'on parviendra à trouver cette nouvelle relation ou s'il faudra établir une nouvelle grandeur fondamentale, en Électromagnétisme, comme on est obligé pour le moment d'envisager la température dans l'étude de la chaleur. Cette question n'est pas aussi oiseuse qu'on pourrait le croire, car si l'on peut admettre qu'on annule les dimensions d'une quatrième grandeur de dimensions destinées à rester inconnues, ce qui revient, en somme, à la définir, il semblerait dangereux de maintenir cette manière de faire dans l'enseignement si l'on entrevoit seulement la nécessité de rétablir plus tard cette grandeur dans ses vraies dimensions.

» La théorie des électrons, en introduisant la notion de quantité élémentaire d'électricité négative, paraît peser en faveur de l'introduction de cette quatrième grandeur. Cependant, depuis lors, s'est

produite la théorie qui tend à ramener la notion d'inertie à celle d'inertie électromagnétique.

» Cette théorie aurait pour résultat d'expliquer la masse matérielle par l'électron en mouvement et, par conséquent, de ramener à trois le nombre des grandeurs fondamentales.

» D'autre part, il semble que quelques chercheurs soient en passe de trouver les traces de l'existence de quantités élémentaires d'électricité positive; mais les relations que nous possédons déjà, et notamment ce fait qu'on peut annuler l'électricité négative en y ajoutant de l'électricité positive, semblent suffisantes pour dire d'avance que, si l'on obtient ce résultat, les dimensions des deux sortes d'électricité resteront les mêmes, de sorte qu'on peut entrevoir la possibilité de ramener à trois le nombre des grandeurs fondamentales.

» Dans ces conditions, il me paraîtrait préférable de rétablir dans l'enseignement la notion de l'existence d'un coefficient, et surtout urgent de donner à l'unité de champ magnétique un autre nom qu'à l'unité d'induction magnétique, afin que les techniciens ne soient pas amenés par l'identité de dénomination à croire que ces deux grandeurs sont identiques.

» Le champ magnétique a pour dimensions IL^{-1} , donc FP^{-1} . Quant à l'induction, elle se déduit de cette définition que le flux d'induction d'un pôle P isolé dans l'espace est égal à $4\pi P$; l'induction a donc pour dimensions PL^{-2} . La perméabilité magnétique aura dès lors pour valeur

$$\frac{PL^{-2}}{FP^{-1}} = \frac{1}{F} \frac{P^2}{L^2} = \frac{1}{K},$$

c'est-à-dire qu'elle représente en dimensions l'inverse du coefficient K' .

» On pourrait donc très simplement rectifier les idées inexactes qui sont trop répandues actuellement en enseignant que la *perméabilité magnétique* est une grandeur de dimensions encore inconnues, qu'on considère provisoirement comme purement numérique pour les besoins de la pratique, parce qu'on ne peut pas calculer des dynamos au moyen de grandeurs inconnues, mais qu'il ne faut pas perdre de vue que, si la perméabilité devient ainsi un coefficient

purement numérique dans les calculs pratiques, il est très peu probable que dans la réalité il en soit ainsi.

» La conséquence immédiate de cette conclusion serait la nécessité de donner des noms différents aux unités d'induction et de champ magnétique, afin de ne pas préjuger identiques des grandeurs probablement différentes.

» V. Il serait utile, pour ne rien préjuger, d'adopter au moins provisoirement une quatrième grandeur fondamentale en Électromagnétisme.

» L'emploi de la perméabilité magnétique comme quatrième grandeur fondamentale ne paraît pas spécialement s'imposer; il offre l'inconvénient, très sérieux dans la pratique, que presque toutes les grandeurs se présentent avec des exposants fractionnaires. La notion de perméabilité perd d'ailleurs toute espèce de netteté dans les corps ferromagnétiques.

» Une autre grandeur serait plus indiquée par son intervention continue dans les problèmes électrotechniques : c'est l'induction magnétique. Vaschy l'avait proposée il y a longtemps déjà, et j'aurais probablement insisté pour son adoption si un fait nouveau ne s'était produit depuis lors.

» Ce fait nouveau est la théorie des ions dans les gaz, dont le fondement est la quantité élémentaire d'électricité. Nul ne sait ce que peut signifier l'expression *quantité élémentaire d'électricité*, mais il n'y a pas lieu de s'en effrayer, car on ne sait pas davantage ce qu'est, au fond, la matière ou la masse matérielle. Si même on se rend moins imparfaitement compte de ce que représentent la longueur et le temps, ce sont en réalité des grandeurs intuitives dont on ne trouve pas de définition satisfaisante.

» La quantité d'électricité joue un rôle tellement prépondérant dans la théorie des ions, qu'il semble tout indiqué de l'adopter comme quatrième grandeur fondamentale que nous appellerons Q jusqu'au moment où une nouvelle relation permettra de l'exprimer en fonction de L , M et T , ou de ramener la masse matérielle à L , Q et T .

» Les différentes grandeurs électriques et magnétiques s'expriment dès lors en dimensions d'une manière simple; sans les envisager toutes, on a, pour les plus essentielles :

» Le *potentiel électrique* est égal au travail de l'unité de quantité d'électricité, soit

$$ML^2 T^{-2} Q^{-1};$$

l'*intensité de courant électrique* est égale à la quantité d'électricité par unité de temps, soit

$$QT^{-1};$$

le *potentiel magnétique* a les mêmes dimensions

$$QT^{-1}$$

et est le travail de l'unité de pôle, ce qui donne pour la *quantité de magnétisme* les dimensions

$$ML^2 T^{-1} Q^{-1};$$

le *flux d'induction magnétique* a les mêmes dimensions

$$ML^2 T^{-1} Q^{-1},$$

ce qui donne pour l'*induction magnétique*

$$MT^{-1} Q^{-1};$$

le *champ magnétique* est le potentiel par unité de longueur, soit

$$QL^{-1} T^{-1};$$

la *perméabilité magnétique* a dès lors pour dimensions

$$\frac{MT^{-1} Q^{-1}}{QL^{-1} T^{-1}}, \quad \text{soit} \quad LMQ^{-2}$$

(on voit que l'emploi du système électromagnétique revient à poser

$$Q = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}});$$

la *capacité électrostatique* a pour dimensions

$$\frac{Q}{ML^2 T^{-2} Q^{-1}}, \quad \text{soit} \quad L^{-2} M^{-1} T^2 Q^2;$$

la *résistance électrique*,

$$\frac{ML^2 T^{-2} Q^{-1}}{QT^{-1}}, \quad \text{soit} \quad ML^2 T^{-1} Q^{-2};$$

la *self-inductance* est le flux d'induction propre d'un courant unité,

donc

$$\frac{ML^2 T^{-1} Q^{-1}}{QT^{-1}}, \quad \text{soit} \quad L^2 MQ^{-2},$$

et, pour qu'elle ait les dimensions d'une longueur, il faudrait que LMQ^{-2} devienne égal à 1, c'est-à-dire que la perméabilité magnétique fût purement numérique ; c'est bien là, en effet, l'hypothèse fondamentale du système électromagnétique, et les dimensions qu'il faudrait donner à Q pour la réaliser ne plaident guère en sa faveur.

» On voit que, dans ce système, les dimensions des diverses grandeurs se déduisent avec une extrême facilité d'un petit nombre de notions fondamentales et de leurs définitions mêmes, que les expressions en dimensions sont simples, et tous les exposants entiers. C'est là un ensemble d'avantages réels qui plaident en faveur de ce système.

» VI. Une question importante reste cependant à examiner, c'est celle de la compétence de la Commission électrotechnique internationale en ces diverses matières, et l'objection m'a été faite qu'elles paraissent ressortir plutôt à la *Commission des Unités*.

» Je ne suis pas de cet avis, ou plutôt j'estime que la question serait ainsi mal posée. Il y a des problèmes purement scientifiques, tel celui de savoir si la colonne de mercure qui représente l'ohm doit, toutes choses égales d'ailleurs, avoir telle ou telle longueur, qui sont évidemment du domaine exclusif de la Commission des Unités. Il y en a d'autres, tel celui qui consiste à décider si une série normale de types de moteurs doit procéder par échelons de 5 kilowatts ou de 10 kilowatts, qui sont du domaine exclusif de la Commission électrotechnique.

» Mais il y en a aussi, et la plupart de ceux que nous avons examinés sont du nombre, qui relèvent à la fois de ces deux ordres d'idées et qui doivent être solutionnés d'accord entre ces deux grandes Commissions internationales.

» Il n'est pas douteux que ce sont les techniciens et non pas les savants que gêne l'incohérence du système pratique et du système électromagnétique C. G. S. C'est donc aux techniciens à étudier un système cohérent satisfaisant, quitte à le faire approuver par la

Commission des Unités pour lui donner l'estampille de la vérité scientifique.

» De même, une nouvelle dénomination du champ ou de l'induction magnétique sera bien plus employée par les techniciens que par les savants, et le choix éventuel d'une quatrième grandeur fondamentale, qui doit être de nature à ne pas troubler les travaux de techniciens parfois peu habitués aux problèmes purement scientifiques, est évidemment du domaine des techniciens qui auront à changer leurs habitudes à la suite de leur adoption, sous réserve de l'adhésion de la Commission des Unités, afin de leur assurer un caractère scientifique indiscutable.

» J'estime donc que ces questions sont à préparer par les Comités électrotechniques locaux et à mener à bonne fin par les soins de la Commission électrotechnique internationale avec le concours de la Commission des Unités.

» VII. Je me résumerai dans les quelques propositions suivantes :

» 1° Les systèmes C. G. S., *électrostatique* C. G. S., *électromagnétique* C. G. S. et *pratique des électriciens* sont des modalités du *système métrique* ;

» 2° Les systèmes d'unités pratiques employées en électricité et en magnétisme sont discordants, et il y aura lieu d'en étudier l'unification ;

» Mais cette unification, qui soulève de sérieuses difficultés, peut être ajournée sans grand inconvénient ;

» Il y a lieu de l'ajourner jusqu'au moment où l'on pourra combiner un nouveau système avec une division décimale du temps ;

» 3° L'induction et le champ magnétique étant très probablement des grandeurs différentes et n'ayant pas les mêmes dimensions, il y a lieu de donner un nouveau nom à l'une de ces deux unités ;

» 4° Dans l'état actuel de la Science, il y aurait lieu d'adopter en électricité et en magnétisme une quatrième grandeur fondamentale, et la grandeur qui semble la plus indiquée est la quantité d'électricité ;

» 5° La *Commission électrotechnique internationale* est compétente pour élucider les questions ci-dessus, dont la solution aura

principalement sa répercussion dans la pratique quotidienne, et pour provoquer l'adoption des solutions auxquelles elle sera parvenue, en s'assurant au besoin la collaboration de la *Commission des Unités*. »

M. le PRÉSIDENT. — « Avant de donner la parole aux personnes qui l'ont demandée, je ne crois pas inutile de déclarer que, délégué par le Comité électrotechnique français à la réunion du Conseil de la Commission électrotechnique internationale qui s'est tenue en octobre dernier, et ayant suivi sans interruption toutes les séances du Conseil et de la Sous-Commission, je n'ai eu, à aucun moment, pour ma part, l'impression d'un antagonisme quelconque dans l'esprit des personnes présentes entre le système C. G. S. et le système métrique. La décision visée par M. Brylinski a été adoptée pour ainsi dire sans discussion; il n'y a donc eu aucune manifestation *verbale* dans le sens indiqué, mais il m'a semblé en outre que, dans l'esprit des quelques personnes qui ont parlé quelque peu sur ce sujet, les deux systèmes ne constituent que deux modalités, nullement en opposition, d'une seule et unique conception.

» Quant au système pratique des unités électriques, internationalement adopté depuis longtemps, personne n'a proposé de l'abandonner; il n'a cessé d'être considéré comme un *dérivé* des deux précédents.

» Enfin, je dois dire que je ne crois pas que nous ayons à discuter ici des attributions de la Commission électrotechnique internationale. C'est affaire au Comité électrotechnique français : M. Brylinski en fait partie, il lui sera facile d'y défendre ses idées avec l'habileté et la science dont il fait preuve en toutes circonstances. »

M. PELLAT. — « Si l'on veut généraliser les systèmes de mesures absolues en laissant indéterminées les dimensions d'une quantité d'électricité par rapport aux grandeurs fondamentales, longueur, masse et temps, il est nécessaire de préciser, plus qu'on ne le fait dans le système électromagnétique ou dans le système électrostatique, la définition de quelques grandeurs. Pour cela, il faut établir arbitrairement une relation entre les dimensions de deux grandeurs convenablement choisies. M. Brylinski a choisi, comme grandeurs

entre lesquelles il établit une relation de dimension arbitraire, l'intensité d'un courant et la force magnétomotrice, et la relation arbitraire qu'il a adoptée est la plus simple de toutes : il a donné même dimension à ces deux grandeurs. Les définitions de l'intensité d'un champ magnétique et celles d'une quantité de magnétisme se trouvent, en particulier, suffisamment précisées pour que leurs dimensions en fonction de L , M , T et Q soient fixées sans ambiguïté.

» Par ce choix, M. Brylinski a édifié un système excellent et tel, je crois, qu'on ne peut en obtenir de meilleur. Mais on peut en obtenir d'autres aussi bons dans lesquels les dimensions de la plupart des grandeurs par rapport à L , M , T et Q ne sont pas les mêmes. Par exemple, nous pourrions fixer la relation de dimension arbitraire en admettant que dans tout système les dimensions d'une quantité de magnétisme seront le produit des dimensions d'une intensité de courant par une longueur, comme cela a lieu dans le système électromagnétique ; par cette convention, on ne ferait que définir avec précision ce qu'on entend dans un système quelconque par une *quantité de magnétisme*. Mais, dans le système qui dérive de cette définition, ni la quantité de magnétisme, ni l'intensité d'un champ magnétique, ni la force magnétomotrice, ni beaucoup d'autres grandeurs n'ont les mêmes dimensions par rapport à L , M , T et Q que dans le système proposé par M. Brylinski. En particulier, les dimensions d'une force magnétomotrice ne sont plus les mêmes que celles d'une intensité de courant ; il n'y a donc aucune nécessité que ces deux dimensions soient les mêmes

» Je désire seulement tirer de ces indications théoriques une conclusion pratique. Si à la *Commission électrotechnique internationale* était soulevée la question d'un système plus général d'unités électriques, comprenant, comme cas particulier, à la fois le système électromagnétique et le système électrostatique (ce que pour ma part je ne souhaite pas, car je n'en vois pas l'utilité, immédiate du moins), il faut que les délégués français aient une proposition à présenter. Je leur conseillerais d'adopter alors le système de M. Brylinski et de le présenter à la Commission. Mais, si d'autres délégués présentaient et tenaient beaucoup à un autre système reconnu aussi cohérent que celui de M. Brylinski, je conseillerais d'être coulant,

car ce qui importe avant tout c'est que les divers pays aient des définitions identiques. »

(M. Pellat fait remarquer ensuite que ce serait une illusion de croire que le fait que la masse d'un électron est d'origine électromagnétique permette de fixer, sans convention arbitraire, la relation de dimension entre une quantité d'électricité, une longueur, une masse et un temps.)

M. JANET. — « Nous devons tout d'abord remercier M. Brylinski d'avoir précisé aussi nettement la définition du kilogramme dans le système métrique : il est bien entendu maintenant que le kilogramme déposé au Bureau international des Poids et Mesures est une unité de masse ; il était d'autant plus important de le faire que bien des ingénieurs étaient restés sous l'impression des décisions du Congrès de Mécanique appliquée de 1889, dont je cite textuellement l'une des principales :

« En ce qui concerne l'expression numérique de ces diverses » grandeurs (force, travail, puissance), pour tous ceux qui acceptent » le système métrique, les unités sont les suivantes :

» La *force* a pour unité le kilogramme défini par le Comité international des Poids et Mesures.

» Le *travail* a pour unité le kilogrammètre.

» La *puissance* a deux unités distinctes, au gré de chacun : le » *cheval* de 75 kilogrammètres par seconde, et le *poncelet* de 100 kilogrammètres par seconde. »

» Ces décisions demanderaient évidemment à être revisées, en tenant compte des décisions de la Conférence internationale des Poids et Mesures de 1901. Il ne serait pas difficile de faire disparaître le *poncelet*, qui, je crois, n'a jamais eu qu'une existence bien précaire ; il serait plus difficile de faire disparaître le kilogrammètre ; tant qu'on ne l'aura pas fait, on sera bien forcé de conserver deux sens au mot *kilogramme*, le kilogramme-masse et le kilogramme-force.

» Si nous définissons ce dernier comme la force exercée sur la masse du kilogramme-masse en un point de la Terre où l'accélération a sa valeur normale, $9,80665 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$, nous aurons un système

parfaitement défini, mais dans lequel la relation fondamentale entre la force, la masse et l'accélération, sera non pas

$$F = m\gamma,$$

mais

$$F = km\gamma,$$

k ayant la valeur

$$\frac{1}{9,80665},$$

c'est-à-dire, à 2 pour 100 près, $\frac{1}{10}$.

» Je voudrais relever un autre passage dans la Communication que nous venons d'entendre. M. Brylinski dit qu'on a dû créer, au moyen d'hypothèses presque certainement inexactes, un système électrostatique et un système électromagnétique qui sont d'ailleurs contradictoires entre eux.

» A mon avis, un système quelconque d'unités est fondé, non pas sur des *hypothèses*, mais sur des *conventions*; on ne peut pas dire d'une convention qu'elle est *exacte* ou *inexacte*, *certaine* ou *hypothétique*, mais seulement *commode* ou *incommode*, *cohérente* ou *contradictoire*. Or, en soi, le système d'unités électrostatiques est parfaitement cohérent, et le système d'unités électromagnétiques est aussi parfaitement cohérent : le fait que dans le premier le pouvoir inducteur spécifique n'a pas de dimension et que la perméabilité en a, et que dans le second c'est l'inverse, ne me choque nullement : il n'est pas étonnant que, les conventions fondamentales étant différentes, on arrive à des résultats différents, et que les deux systèmes soient incompatibles entre eux.

» Mais dans le langage de M. Brylinski et dans celui de ses prédécesseurs, en particulier de MM. Mercadier et Vaschy, qui ont traité longuement la question qui nous occupe, on trouve à chaque instant des expressions telles que les suivantes : nous connaissons ou nous ne connaissons pas les dimensions de telle ou telle grandeur ; si nous connaissons la vraie nature de telle ou telle grandeur, nous connaissons ses vraies dimensions, ou inversement, etc., indiquant que, dans l'esprit de ces auteurs, la théorie des dimensions a quelque chose d'absolu et non pas de conventionnel.

» Je crois que la question s'éclaircit beaucoup en distinguant les dimensions des *unités* et les dimensions des *grandeurs*. Cette dis-

inction a été faite très nettement par M. Abraham, dans un travail qu'il a publié en 1892 au *Journal de Physique*.

» La question de la dimension des unités est parfaitement claire, et je n'ai nullement l'intention d'en reprendre ici l'exposé, qui est tout à fait classique ; cette théorie a un caractère absolument scientifique et positif ; mais, en revanche, le choix des unités fondamentales et les dimensions des unités dérivées comportent le plus haut degré d'arbitraire et de conventionnel : c'est, je crois, Joseph Bertrand qui disait que, si l'on prenait pour unité de longueur le chemin parcouru dans le vide par la lumière pendant l'unité de temps, la dimension d'une longueur serait un temps, et c'est parfaitement légitime.

» Toute la difficulté commence lorsqu'on veut parler des dimensions des grandeurs ; il faut alors définir chaque mot qu'on emploie, et j'ai l'impression qu'on fait alors bien plus de la philosophie ou même de la métaphysique que de la science positive.

» Il faut d'abord définir ce qu'on appelle *grandeur fondamentale* et *grandeur dérivée* ; on appelle évidemment grandeur fondamentale une grandeur dont l'idée ne peut se réduire à aucune autre ; grandeur dérivée, une grandeur dont l'idée peut se réduire à celle des grandeurs fondamentales.

» Mais, dans cette phrase même, nous employons le mot *réduire* ; il faut le définir. Écoutons ce que dit M. Abraham : on dit qu'une grandeur *D* est *réductible* aux grandeurs *A, B, C, ...*, lorsque, ne disposant que de grandeurs, d'ailleurs quelconques, d'espèces *A, B, C, ...*, on peut distinguer une certaine grandeur *d* parmi toutes les grandeurs possibles d'espèce *D* sans faire intervenir les propriétés des corps en expérience.

» Voilà une définition du plus haut intérêt ; si on ne l'adopte pas, il faut la remplacer par une autre équivalente ; mais on ne peut nier qu'elle ne soit profondément abstraite et un peu étonnée de se trouver citée dans une société comme la nôtre, qui doit s'attacher aux côtés les plus pratiques de l'industrie et les plus positifs de la Science.

» Ce n'est pas tout ; une fois bien comprise cette idée de réduction des grandeurs les unes aux autres, il faut définir ce qu'on

entend par dimensions d'une *grandeur* dérivée, en ayant bien soin de ne pas s'imaginer qu'on le sait parce qu'on a l'idée nette de ce que c'est que les dimensions d'une *unité* dérivée.

» Enfin, ces deux points de départ étant solidement établis, on peut se proposer de chercher les dimensions vraies (j'admets fort bien qu'alors il n'y a pas ambiguïté) des diverses grandeurs; cette étude, d'ailleurs, est purement spéculative et un peu stérile, car elle ne suppléera jamais l'expérience; mais je ne nie pas qu'elle ait une haute portée philosophique.

» J'ajouterai encore un mot sur deux autres points de la Communication de M. Brylinski : en premier lieu, il signale avec beaucoup de raison l'incohérence qu'il y a à employer, pour la pratique, le système dit *pratique* pour les unités électriques et le système C. G. S. pour les unités magnétiques. Mais cette incohérence a été voulue, en pleine connaissance de cause, par les praticiens; ce sont eux qui, au Congrès de 1900, ont insisté pour donner le nom de *gauss* à l'unité C. G. S. de champ magnétique, tandis que les théoriciens, parmi lesquels je citerai en première ligne M. Mascart, étaient très opposés à donner des noms aux unités C. G. S. La raison en est facile à apercevoir : dans un système *cohérent*, il arrivera toujours que certaines unités seront trop grandes, d'autres trop petites, d'autres enfin convenables pour la pratique; on a *choisi* le volt, l'ampère et l'ohm de grandeur convenable; mais alors il se trouve que les unités du système dit *pratique* de champ ou de flux sont beaucoup trop petites ou trop grandes; la vraie pratique a donc imposé des noms aux unités magnétiques C. G. S. qui se trouvaient de grandeurs convenables. Il est facile de voir que, si l'on avait donné le nom de Gauss et de Maxwell non pas aux unités C. G. S., mais aux unités pratiques, le gauss et le maxwell actuels seraient devenus le myriamégagauss et le millimicromaxwell, ce qui eût été d'un usage peu commode. On ne peut espérer arriver à une logique absolue en ces matières.

» En second lieu, dans sa Communication, M. Brylinski ajourne ses projets de réforme des unités électriques au temps où l'on abordera une réforme beaucoup plus importante, celle de la décimalisation du temps. Je suis très heureux de cette proposition, car j'espère qu'elle ajourne à un avenir bien lointain les réformes projetées; à

ce propos, je tiens à rappeler que, il y a 12 ans environ ⁽¹⁾, notre Société, ainsi d'ailleurs que la Société de Physique, a pris très nettement parti dans cette question et, dans un Rapport adressé à M. le Ministre de l'Instruction publique, s'est prononcée contre tout projet qui tendrait à toucher à la seconde sexagésimale; nous renverrons aux documents publiés à cette époque pour les arguments très solides qui ont été donnés contre les projets de décimalisation du temps. »

M. DEVAUX-CHARBONNEL. — « J'hésite un peu à prendre la parole, après notre savant président et le distingué directeur de notre École, sur une question où je suis obligé d'avouer mon peu de compétence. Je vous demande d'autant plus votre indulgence que je vais vous prier de descendre du domaine des hautes spéculations scientifiques où M. Brylinski nous a entraînés et où, grâce à la clarté de son exposition, vous avez pu le suivre sans peine, pour venir à des considérations beaucoup plus terre à terre.

» On vient de vous rappeler que la liaison qui rattache les grandeurs électriques et magnétiques aux grandeurs mécaniques n'est pas complète, qu'en somme les premières n'étaient pas asservies entièrement aux secondes et qu'elles conservaient un degré de liberté, liberté qui a permis de choisir arbitrairement l'un des coefficients de Coulomb pour constituer soit les systèmes électrostatiques, soit les systèmes électromagnétiques. Jusqu'à présent toutes les tentatives faites pour enlever aux grandeurs électriques cette dernière liberté ont été sans succès. On a bien entrevu, en étudiant par le calcul la propagation des ondes électromagnétiques dans un espace indéfini, les analogies qui pouvaient être établies avec la propagation d'un ébranlement élastique; on a prévu qu'il devait y avoir une certaine assimilation possible entre la densité et l'élasticité du milieu, l'éther, qui sert de véhicule aux ondes, d'une part, le pouvoir inducteur et la perméabilité magnétique d'autre part; on a même établi sans difficulté que la très curieuse relation

$$KK' = V^2,$$

⁽¹⁾ Voir *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 1897, pages 233, 274, 318.

qui lie les coefficients de Coulomb à la vitesse de la lumière, n'était que l'expression générale de la loi de Newton

$$V^2 = \frac{e}{d}$$

qui donne la vitesse d'un ébranlement en fonction de l'élasticité et de la densité du milieu. Mais, malheureusement, l'expérience n'est pas venue permettre de vérifier ces analogies d'une manière concrète, et il ne faut pas trop s'en étonner, car il s'agit là d'atteindre les propriétés d'un milieu qui n'est encore qu'hypothétique.

» La théorie des électrons, si ingénieuse dans ses principes, si féconde dans ses déductions, n'est pas venue, malgré les apparences, apporter de nouvel élément dans la question. En effet, on aurait pu croire que l'affirmation hardie que la matière n'était formée que d'atomes d'électricité, d'électrons, et que la masse matérielle newtonienne n'était qu'une apparence, qu'une forme de l'inertie magnétique, on aurait pu croire que cette nouvelle conception de la matière allait asservir définitivement soit la Mécanique à l'Électricité, soit l'Électricité à la Mécanique. Il n'en est rien et la raison en est facile à comprendre. L'électron dans son mouvement donne lieu à un courant de convection qui possède, comme le courant de conduction, la propriété de développer un champ magnétique. L'énergie dépensée pour la création incessante de ce champ ne peut être fournie que par l'électron. Il en résulte qu'il y a réaction du champ sur le mouvement de l'électron et que son énergie cinétique doit être égale à l'énergie du champ. En exprimant ce fait, on se trouve en présence d'une équation qui est assez compliquée et que je crois inutile de rappeler, mais qui est analogue à la suivante, qui vous est plus familière :

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}LI^2.$$

Or, depuis longtemps, le coefficient de self-induction L a été déterminé par des considérations analogues, et au point de vue de la dimension des quantités qui entrent dans cette formule la relation ne peut rien donner de nouveau.

» En conclusion, l'Électricité, en dépit de toutes les tentatives faites, a conservé une certaine indépendance vis-à-vis de la Méca-

nique. On a cherché à profiter de cette indépendance pour choisir des unités électriques qui fussent commodes. On s'est arrêté au système électromagnétique, parce que les phénomènes les plus utiles en électricité sont justement les phénomènes électromagnétiques. En agissant ainsi, on a donné une certaine prépondérance à une grandeur particulière, à la perméabilité magnétique; on n'en a pas fait ouvertement une grandeur fondamentale, comme M. Brylinski propose de le faire pour la *quantité d'électricité*, mais il me semble qu'on l'a fait tacitement; voulez-vous me permettre d'exagérer ma pensée pour la rendre plus saisissante. On a dit : la quatrième grandeur fondamentale sera la perméabilité magnétique et l'unité de perméabilité sera la perméabilité de l'air. D'ailleurs personne ne s'en est réellement trouvé mal. A part les métaux de la famille du fer, tous les corps ont une perméabilité voisine de celle de l'air, de sorte qu'il en est résulté pour les praticiens une grande commodité, et quand, d'autre part, on a voulu déterminer la valeur des unités électriques, l'ampère et l'ohm par exemple, et les rattacher aux unités mécaniques, les recherches se sont trouvées très simplifiées par cette hypothèse.

» Avec les systèmes électromagnétiques (je dis, intentionnellement, *les systèmes* parce qu'il y en a plusieurs, correspondant à autant de systèmes d'unités mécaniques), on a donc choisi, en réalité, une quatrième grandeur fondamentale, de nature électrique. On ne l'a pas fait d'une manière absolument officielle, puisque la dimension de K' a disparu des formules; mais il serait bien facile de la rétablir, et d'ailleurs bien des professeurs le font dans leurs cours, ce qui permettrait de donner en partie à M. Brylinski satisfaction sur la question des dimensions.

» Voyons maintenant si le choix de la quantité d'électricité comme grandeur fondamentale est très avantageux. Les formules des dimensions ne contiennent plus d'exposants fractionnaires. Mais ceci est d'une importance bien théorique, et regardons les choses à un point de vue purement pratique. Les unités mécaniques sont bien définies et ont une représentation concrète que tout le monde connaît. Le mètre, le kilogramme ont leurs étalons déposés au Pavillon international des Poids et Mesures. Tout le monde peut en avoir des copies qui servent journellement. La seconde, elle-même,

est une grandeur qui est devenue pour ainsi dire concrète. Il suffit de suivre la petite aiguille de sa montre pour en avoir une idée assez exacte. La quantité d'électricité est loin d'être susceptible d'une représentation aussi commode. Tout d'abord son existence réelle n'est pas certaine. La théorie des électrons lui a bien donné une importance toute particulière, en montrant qu'une même quantité d'électricité est attachée à chaque atome de matière, que cette matière soit la matière ordinaire qui se manifeste dans les phénomènes d'électrolyse, sous la forme d'ions, ou la matière de masse beaucoup moindre et plus subtile qu'on rencontre dans les tubes à vide et dans laquelle on a cru voir l'électricité elle-même. Les expériences de condensation de Wilson ont même permis de mesurer cette quantité d'électricité qui accompagne chaque atome. C'est la plus petite quantité d'électricité qu'on ait jamais constatée, et l'on a, depuis longtemps, proposé pour cette raison d'en faire l'unité rationnelle de quantité. Il y a cependant à cela deux inconvénients : cette quantité est très petite, de l'ordre de 10^{-20} coulomb, et de plus elle n'est pas connue au dixième près de sa valeur. Ce sont là de bien graves défauts pour une unité.

» D'ailleurs, l'existence de la quantité d'électricité n'est guère plus certaine aujourd'hui, malgré les progrès de la Science, qu'elle ne l'était du temps de Coulomb, alors qu'en posant sa fameuse loi d'attraction, il affirmait en somme l'existence des masses électriques et les soumettait aux lois générales de l'attraction universelle. Pas plus de son temps que du nôtre la quantité d'électricité n'a manifesté son existence autrement qu'en communiquant le mouvement aux corps qui la supportent, lorsque ces corps sont placés dans un champ électrique convenable ; et le mystère du phénomène qui se produit alors, de la force mécanique qui naît et engendre le mouvement, est toujours resté aussi profond.

» J'avoue que, si l'on devait prendre parmi les grandeurs électriques une grandeur fondamentale, j'aurais une grande préférence pour la résistance qui, elle, peut se représenter d'une manière concrète par un étalon de nature et de dimensions déterminées et qui par là possède les mêmes qualités que les unités mécaniques actuelles.

» Mais est-il bien nécessaire d'abandonner la perméabilité ma-

gnétique pour lui substituer une autre grandeur? Si l'on se retourne vers la pratique, on ne voit pas bien ce qu'on aurait à y gagner. Car il ne faut pas oublier que nous disons que les grandeurs électriques ont un degré de liberté, mais que pratiquement elles en ont deux. Une des relations les plus importantes qui lient la Mécanique à l'Électricité est la loi de Joule :

$$W = RI^2T.$$

» Or le travail électrique exprimé par le second membre n'est converti d'une façon commode en travail mécanique que par l'intermédiaire de la chaleur dégagée dans un conducteur. Il faut donc faire intervenir un coefficient, l'équivalent mécanique de la chaleur, dont la valeur n'est pas connue de façon précise. De sorte que cette relation est laissée de côté et qu'en fait on a toujours eu, non pas une, mais deux unités primaires, indépendantes, l'ohm et l'ampère par exemple, qu'on a rattachées séparément et directement aux unités mécaniques.

» Dans ces conditions, il ne semble pas qu'il suffirait de choisir une seule grandeur fondamentale en Électricité, mais il en faudrait prendre deux, et ce serait bien imprudent, car demain la relation de Joule peut acquérir une rigueur qu'elle n'a pas aujourd'hui. En tout cas, je ne pense pas que la quantité d'électricité se recommande plus particulièrement que les autres grandeurs électriques pour constituer une unité fondamentale. Je préfère, et bien des gens seront de mon avis, conserver l'état actuel avec le vague et l'indécision qui environnent la perméabilité magnétique et attendre, pour songer à un autre système d'unités, soit que l'Électricité ait perdu le reste de liberté qu'elle a conservé vis-à-vis de la Mécanique, soit qu'elle ait montré plus clairement qu'elle en était bien indépendante.

» Je pense que M. Brylinski ne m'en voudra pas si je lui dis que je crois que la tâche qu'il entreprend aujourd'hui ne sera pas commode à mener à bonne fin, et qu'il lui faudra faire appel à tout le talent qu'il nous a montré ce soir et à toute la persévérance dont nous le savons capable, pour faire triompher ses idées, malgré l'ingéniosité que nous leur reconnaissons et à laquelle nous sommes tous unanimes à rendre hommage. »

M. BRYLINSKI. — « Je désirerais ajouter quelques mots aux re-

marques que viennent de formuler MM. Pellat, Janet et Devaux Charbonnel.

» Je suis d'accord avec M. Pellat que le fait de supprimer le coefficient K'' constitue une convention dans la manière de penser de notre époque. Je désire seulement insister sur deux points : le premier, c'est que cette convention comporte le minimum possible d'arbitraire, puisque nous ne faisons disparaître ce coefficient en l'égalant à l'unité qu'après avoir établi qu'il était indépendant de toute circonstance physique connue, ce qui est loin d'être le cas des coefficients K et K' par exemple ; le second, c'est que cette convention est, implicitement peut-être, mais universellement admise et contenue dans nos systèmes de mesures.

» Prenons, par exemple, la détermination de l'*ampère* par l'électrodynamomètre absolu. La première équation de Coulomb donne *en dimensions*

$$F = K I^2 L^{-2} T^2.$$

» L'*ampère* étant une unité *électromagnétique*, nous avons en plus

$$F = P^2 L^{-2} = K'' P I L^{-1}.$$

» Par conséquent,

$$F^2 = K P^2 I^2 L^{-4} T^2 = K''^2 P^2 I^2 L^{-2},$$

d'où résultent

$$K = K''^2 L^2 T^{-2}$$

et

$$F = K''^2 P^2.$$

» La définition électromagnétique de l'*ampère* est basée, ainsi qu'on le voit en jetant un simple coup d'œil sur cette formule, sur la convention

$$K'' = 1.$$

» Le calcul de la force magnétomotrice et, par conséquent, du champ et de l'induction magnétiques produits par un circuit électrique se fait toujours au moyen des ampères-tours, sans l'intervention d'aucun coefficient non numérique. Chacune de ces opérations suppose implicitement

$$K'' = 1.$$

» Le fait que la définition de l'*ampère* est basée sur cette convention entraîne son intervention dans celle de l'ohm et du volt, de

sorte que, si l'on voulait y renoncer, il faudrait modifier complètement notre système d'unités électromagnétiques, idée contre laquelle vient de protester énergiquement M. Janet.

» A la suite de la manière de voir exposée par M. Janet sur le point de savoir si l'on peut considérer un système de mesures comme inexact par la base, ou simplement incommode ou incohérent avec un autre, je désire préciser par deux exemples ce que j'entends par *inexact*.

» On peut définir la *masse matérielle* par l'équation

$$f = \frac{mm'}{r^2}.$$

On parvient ainsi à une définition de la *masse* qui est toute différente, dans l'état actuel de nos connaissances, de celle qui est universellement admise. Je considérerais un pareil système comme inexact, non pas d'une façon absolue, mais parce qu'il amènerait à définir une grandeur connue d'une façon contradictoire avec la définition admise pour cette grandeur.

» De même, le système électrostatique *ou* le système électromagnétique peut exister d'une façon absolue; c'est une simple question de définition. Mais une même grandeur sera définie de deux façons différentes dans ces systèmes; or une grandeur physique a une existence réelle et n'est pas susceptible de deux définitions non concordantes simultanées. J'estime, par suite, qu'une de ces deux définitions est forcément inexacte, et c'est dans ce sens que je considère l'un de ces deux systèmes comme ayant une base inexacte.

» M. Janet a fait observer que l'incohérence entre les systèmes d'unités électriques et magnétiques provient de ce que les ordres de grandeur de ces quantités ne se prêtent pas à l'emploi commode d'un système unique. Si cette observation devait être décisive, sa portée serait grande, car elle s'applique dans l'intérieur du système électrique où le farad est une unité tout à fait excessive, ce qui n'empêche que l'emploi du microfarad soit des plus commodes.

» Elle s'applique même à des unités choisies comme commodes, car l'ohm est un milliard de fois trop petit pour mesurer les isollements de câbles électriques et un million de fois trop grand pour mesurer les résistivités des métaux. C'est pour parer à ces incon-

vénients qu'on a inventé les préfixes, qui indiquent dans chaque cas la puissance de dix à introduire pour l'homogénéité des calculs, et c'est, à mon avis, par une judicieuse extension des préfixes qu'on arrivera à établir un système cohérent d'unités électriques et magnétiques.

» M. Janet s'est référé au Congrès des Mécaniciens, lequel considère le *kilogramme-poids* comme l'unité normale de force. Je ne pense pas que ce système soit celui de l'avenir; le poids est une force d'un caractère tout à fait spécial, tellement spécial, qu'il serait singulier qu'on se crût obligé de la prendre comme type de toutes les forces. C'est d'ailleurs une force excessivement peu employée dans la vie courante, car presque toutes les transactions journalières où l'on parle de poids portent en réalité au fond sur des masses, et, d'autre part, les forces employées dans les calculs techniques n'ont souvent pas de rapport avec les poids.

» Il me semblerait, par suite, très normal d'employer couramment la *mégadyne* comme unité de force. Dans les rares cas où les poids interviendraient réellement, on pourrait employer, comme unité auxiliaire, le *kilogramme-poids*, et dans la pratique les calculs seraient bien facilités par la relation

$$1 \text{ kilogramme-poids} = 0,980665 \text{ mégadyne.}$$

de laquelle il résulte que l'écart entre ces deux unités n'atteint pas 2 pour 100.

» M. Devaux-Charbonnel semble s'être surtout placé au point de vue de la matérialisation des unités, qui est un peu différent de celui des dimensions de grandeurs auquel je me suis placé pour proposer la *quantité d'électricité* comme quatrième grandeur fondamentale. Je n'en suis pas moins d'accord qu'il est indispensable que cette grandeur ait une unité matérialisée, mais il me semble que le *coulomb* constitue précisément cette unité.

» Dans sa dernière session, la Conférence des Unités a défini l'*ampère* de la manière suivante : *le courant invariable qui ... dépose l'argent à raison de 0^g,00 111 800 par seconde.*

» Il n'est pas besoin de regarder longuement cette définition pour voir qu'elle est en réalité beaucoup moins une définition de l'*ampère*

que celle du *coulomb* qui est dès lors *la quantité d'électricité qui ...*
(spécification II) ... *dépose 08,00 III 800 d'argent. »*

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brylinski d'avoir soulevé cette intéressante discussion, ainsi que les orateurs qui y ont pris part.

LA SITUATION ACTUELLE DU SYSTÈME MÉTRIQUE.

M. CH.-ÉD. GUILLAUME. — « *Kilogramme-masse et kilogramme-poids*. — Les Communications que nous venons d'entendre nous ont montré qu'il règne encore, même parmi les personnes très renseignées sur les questions relatives aux unités, quelque hésitation dans la véritable interprétation à donner aux lois définissant les unités métriques fondamentales.

» Des discussions récentes ont fait ressortir l'idée, qui existe dans l'esprit d'un certain nombre de nos collègues, d'une sorte d'opposition entre le Système métrique et le Système C. G. S., en ce qui concerne la définition de l'unité de *force* et même celle de l'unité de *masse*. On a pris l'habitude de définir le kilogramme comme étant un *poids*, et l'on en a conclu que la loi l'envisageait comme une *force*, de laquelle la masse devait être déduite. C'est là une erreur de fait, que M. Brylinski a relevée dans sa Communication; les textes cités par M. Janet montrent qu'elle est très répandue et en quelque sorte officielle; il est donc urgent que, sur ce point, la vérité scientifique soit rétablie.

» Lorsque les travaux de la célèbre *Commission des Poids et Mesures* furent près de leur achèvement, le Gouvernement français provoqua la réunion d'une Commission internationale, chargée de contrôler les bases expérimentales du Système métrique, et de participer, avec les membres français de la Commission, aux dernières recherches, en même temps qu'à la rédaction des Rapports définitifs sur les étalons du Mètre et du Kilogramme. Ces Rapports sont insérés dans l'Ouvrage capital pour l'histoire des mesures : *Base du Système métrique décimal*, rédigé par Delambre.

» C'est dans cet Ouvrage, notamment, qu'on trouve la description des étalons et l'indication précise du sens qu'on doit attribuer à la représentation qu'ils donnent des unités fondamentales. A ce sujet, les Rapports officiels font foi; il ne sera pas inutile d'en reproduire quelques extraits. Voici, par exemple, ce que dit Van

Swinden dans le Rapport présenté à l'Institut national des Sciences et Arts, le 29 prairial an VII (17 juin 1799) ⁽¹⁾ :

« Qu'est-ce qu'une masse de métal qu'on nomme *kilogramme*?
» C'est le représentatif d'une masse d'eau, prise à son maximum de
» condensation, contenue dans le cube du décimètre, et pesée dans
» le vuide. Nos deux kilogrammes de platine et de laiton, ces deux
» représentatifs d'une même masse d'eau, doivent avoir le même
» poids dans le vuide; mais, par là même, ils ne peuvent être égaux
» en poids que là, et doivent être inégaux dans l'air. » Van Swinden
emploie, on le voit, les mêmes termes dont nous nous servirions
encore aujourd'hui.

» Mais d'autres textes peuvent nous faire comprendre comment
la confusion entre le poids et la masse a pu s'établir. Dans son
« Rapport sur l'unité de poids », Trallès ⁽²⁾ parle du corps qui,
« sous un volume déterminé, constitue [alors] l'unité adoptée pour
» *la quantité de matière* ou *l'unité de poids*, parce que nous mesu-
» rons le plus ordinairement la quantité de matière par son poids »,
et plus loin : « Il est bien naturel de regarder la densité du
» corps qui constitue, sous une valeur ⁽³⁾ donnée, l'unité de quan-
» tité de matière comme ayant l'unité de densité » ⁽⁴⁾.

» Ainsi, l'ensemble du texte ne laisse aucun doute : le kilo-
gramme est bien l'unité de la quantité de matière, c'est-à-dire
l'unité de masse, et le poids n'intervient que pour la comparaison;
on ne saurait donc prétendre que les fondateurs du Système métrique
aient eu en vue, dans la création du kilogramme, celle de l'unité de
force; la légère incertitude de l'expression de Trallès est facilement
dissipée lorsqu'on examine le texte avec soin; et ce qui peut en sub-
sister ne doit être attribué qu'à une négligence du langage scien-
tifique, moins précis alors qu'il ne l'est aujourd'hui, au moins
parmi les physiciens ⁽⁵⁾.

» C'est seulement lorsque, dans le courant du siècle écoulé, on a

⁽¹⁾ *Base*, t. III, p. 664.

⁽²⁾ *Base*, t. III, p. 559.

⁽³⁾ *Valeur* est probablement écrit pour *volume*, mais le sens de la phrase est clair.

⁽⁴⁾ *Base*, t. III, p. 563.

⁽⁵⁾ Ce besoin de correction, faut-il le rappeler, n'a pas encore gagné les chimistes, qui parlent de *poids* moléculaires ou atomiques.

voulu plus de rigueur du langage, qu'on a distingué soigneusement entre le poids et la masse, et qu'ayant pris l'habitude de définir le kilogramme comme étant l'unité de poids, on a précisé en indiquant les conditions dans lesquelles ce poids exerçait, sur son support à l'état statique, l'effort correspondant à sa valeur normale.

» Ainsi lorsque, dans sa session de 1887, le Comité international des Poids et Mesures décida de prendre *la masse du kilogramme international comme unité pour le Service international des Poids et Mesures*, il ne fit que retourner aux intentions des fondateurs du Système métrique, déformées plus tard par une correction faite dans le but d'apporter plus de précision au langage, mais qui partait d'une base erronée. Cette définition donnée par le Comité international a été sanctionnée par la première Conférence générale des Poids et Mesures, celle même qui, au nom des Gouvernements signataires de la Convention du Mètre, a déclaré, dans sa mémorable séance du 26 septembre 1889, que les deux unités fondamentales du Système métrique sont représentées par la longueur du Mètre international et la masse du Kilogramme international.

» La troisième Conférence, réunie en 1901, n'a rien innové au sujet de ces définitions fondamentales. Mais, afin de lever toute possibilité d'incertitude et de sortir définitivement d'une ambiguïté qui s'était perpétuée jusqu'alors, elle a défini la valeur normale du kilogramme-poids en disant que ce dernier est de la nature d'une force.

» A cette époque, un certain nombre de lois nationales avaient déjà été revisées et mises d'accord avec les décisions de la Conférence de 1889. D'autres l'ont été depuis lors, et il n'est plus qu'un petit nombre de pays dont les lois aient conservé les anciennes définitions; si, dans ces derniers, le texte des lois n'a pas subi les retouches nécessaires pour les mettre en harmonie avec les conventions internationales, c'est qu'on y prépare une revision plus complète, qu'on voudrait réaliser en une seule fois. Mais, même dans ces quelques pays, l'esprit des définitions courantes des unités est appliqué; nulle part, le kilogramme-force n'est plus considéré comme étant l'unité primitive, de laquelle l'unité de masse serait dérivée.

» *Expansion du Système métrique.* — Le Système métrique est actuellement obligatoire dans les États suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Chili, Colombie, Espagne, France et colonies, Hollande et colonies, Hongrie, Italie, Luxembourg, Mexique, Monténégro, Norvège, Pérou, Portugal, République argentine, Roumanie, Serbie, Suède, Suisse, auxquels il faut ajouter quelques-uns des États de l'Amérique centrale.

» Dans tous ces pays, la situation du Système métrique est parfaitement claire, et cette énumération ne nécessite aucun commentaire.

» Le Système est facultatif dans les États énumérés ci-après : Bolivie, Danemark, Égypte, États-Unis d'Amérique, Grande-Bretagne, Irlande et colonies ⁽¹⁾, Grèce, Guatemala, Japon, Nicaragua, Paraguay, Russie, Siam, Turquie, Vénézuéla.

» Au contraire de la précédente, cette liste appelle quelques explications.

» Au Danemark, où le Système métrique s'était répandu avant d'avoir été déclaré légal, l'emploi en sera définitivement obligatoire dans trois ans.

» En Égypte et au Siam, le Système est obligatoire dans les Travaux publics, et nous verrons plus loin un effet secondaire très heureux de cette obligation.

» Mais c'est surtout l'état des applications du Système métrique dans les quatre grands empires : États-Unis, Japon, Royaume-Uni, Russie, qu'il est intéressant d'étudier en détail.

» Aux États-Unis, le seul système qui ait jamais été légalisé par le Congrès est le Système métrique. En effet, bien que, dès la fin du xvm^e siècle, Washington, Jefferson et Quincy Adams aient insisté sur la nécessité d'adopter un système uniforme de poids et mesures, on a laissé jusqu'ici à chaque État le soin de légiférer en ce qui concerne le système usuel, analogue, *mais non identique*, au Système britannique.

» En revanche, une loi du 23 juillet 1866 dit que le Système métrique est légal dans toute l'Union.

» Ultérieurement, le 5 avril 1893, le Secrétaire du Trésor approu-

(1) A l'exception de l'île Maurice et des Seychelles, où il est obligatoire.

vait un Bulletin des Poids et Mesures spécifiant que le Yard et la Livre étaient définis par leurs rapports numériques au Mètre et au Kilogramme, représentés par leurs étalons en platine iridié, issus du Bureau international des Poids et Mesures.

» Enfin, en 1895 et 1902, le Système métrique a été rendu obligatoire successivement dans la médecine militaire, puis dans tout le service hospitalier des États-Unis. Il est, au surplus, depuis longtemps d'un usage exclusif dans les travaux géodésiques, poussés avec une extrême énergie par le Coast and Geodetic Survey.

» L'absence d'une législation générale a créé, dans les applications du système usuel, une diversité vraiment étonnante, mais qui atteint son maximum dans les mesures de capacité : le *bushel* varie non seulement d'un État au voisin, mais aussi d'une denrée à une autre ; il n'est pas le même à New-York et à Boston ; il diffère suivant qu'il s'applique à des pommes, des poires ou des carottes ; et ses variations sont de grande amplitude, passant de 4 à 130 livres !

» Dans le Royaume-Uni, le Système métrique a été autorisé dès l'année 1865. Après deux extensions admises dans les années 1878 et 1889, il a été déclaré définitivement légal au même titre que le Système usuel, par un Acte du 6 août 1897. Rien donc ne s'oppose à son application, qui est laissée à la libre décision de chacun. C'est en s'appuyant sur cette loi qu'un grand nombre de fabriques ont déjà adopté les mesures métriques pour leur plus grand avantage, et c'est pour la même raison qu'aucune barrière légale ne s'opposant à tous les usages, nous avons pu proposer au Comité électrotechnique international une décision ferme, acceptant le Système métrique comme système officiel pour tous ses travaux.

» Au Japon, une loi du 23 mars 1891 reconnaît le Système métrique et donne, en fonction du Mètre et du Kilogramme, la valeur des unités de l'ancien Système japonais, arrondies à des valeurs métriques simples :

$$1 \text{ shaku} = \frac{1 \text{ m}}{3,3}, \quad 1 \text{ kwan} = 3,75 \text{ kg.}$$

» Depuis sa promulgation, cette loi a été modifiée à diverses reprises, toujours avec l'intention bien arrêtée d'avantager graduellement le Système métrique et d'amener la réforme complète ; d'ailleurs, une refonte de la loi est déjà mise à l'étude.

» Il est intéressant de noter que le nombre des séries d'étalons métriques de masses vérifiées annuellement au Japon est d'environ 150 000 et surpasse de douze fois le nombre des séries des autres systèmes.

» Le Système métrique était resté en Russie, en dehors de toute reconnaissance légale, jusqu'au 1^{er} janvier 1900, date à laquelle il a été déclaré légal, sous la réserve que personne ne pourra être contraint d'employer, sans son consentement, d'autres mesures que celles du Système national. Une ordonnance a imposé les mesures métriques dans la médecine militaire. Il est employé dans la géodésie et dans la science en général, et il pénètre peu à peu dans l'industrie.

» *Perfectionnement et propagande.* — L'élaboration de plus en plus complète du Système métrique, en vue de son application aux diverses industries en même temps qu'à des conditions particulières du commerce, se poursuit sans relâche par les soins de commissions internationales permanentes ou d'une existence passagère. En même temps, la propagande est activement menée, tant par les soins de l'organisation créée par la Convention du Mètre, que par des associations libres, dans les pays où le Système n'est pas encore obligatoire. La plus puissante de ces dernières associations est la Decimal Association, dont le siège est à Londres, et qui compte, parmi ses membres, un grand nombre d'hommes de science et de parlementaires.

» Par les soins de son Comité directeur, la Decimal Association multiplie les publications, les conférences, les actions personnelles; elle recueille les renseignements et les répand parmi les intéressés; elle fait enfin de grands efforts pour éclairer loyalement l'opinion sur les avantages du Système métrique, de façon à lui gagner des partisans, et à préparer la possibilité de sa déclaration obligatoire dans les pays anglo-saxons.

» Les propositions de loi dans ce sens ont été présentées à diverses reprises soit au Congrès des États-Unis, soit au Parlement britannique. Jusqu'ici, l'obligation a toujours été repoussée; mais les majorités diminuent de plus en plus et, pour les assurer, les adversaires du Système métrique ont été parfois obligés de recourir à de

regrettables exagérations. C'est ainsi que, lorsque la loi d'obligation fut présentée à la Chambre des Communes, le 22 mars 1907, M. Lloyd George, alors Ministre du Commerce du Royaume-Uni, gagna à l'opposition une majorité de 32 voix en affirmant que le Système métrique avait subi, en France, un échec désespéré ⁽¹⁾.

» Cependant, il y a une dizaine d'années, Lord Salisbury avait prié tous les représentants diplomatiques du Royaume-Uni de le renseigner sur la situation réelle du Système métrique dans tous les pays du monde. Les résultats de cette enquête ont été publiés dans deux brochures qui constituent, pour les mesures métriques, le plus convaincant des plaidoyers ⁽²⁾. Les réponses reçues sont, en effet, unanimement en faveur du Système métrique. Certaines d'entre elles sont tout à fait caractéristiques de l'universalité d'influences auxquelles les pays non encore métriques peuvent être soumis; on méditera avec intérêt tout particulièrement cette indication, donnée par M. C.-E.-W. Stringer, représentant du Royaume-Uni à Bangkok : « Les ingénieurs britanniques, employés depuis quelques années » par le Département des Travaux publics, ont adopté le Système » métrique ⁽³⁾ et, après peu de mois, déclarent invariablement sa » supériorité sur tous les autres systèmes. » En Nouvelle-Zélande, le Gouverneur est autorisé à déclarer l'obligation par simple décret. Au Canada, le Gouvernement subventionne des conférences publiques en faveur du Système métrique. Dans l'Inde et en Australie, des tentatives d'introduction sont constamment faites; et lors du couronnement du roi Édouard VII, les premiers Ministres des colonies ont émis un vote unanime en faveur d'une loi générale rendant le Système métrique obligatoire dans le commerce.

» Il semble donc certain que, soit par une action interne, soit sous la pression des colonies britanniques, ou par l'action de contact des pays avec lesquels elle entretient un commerce abondant, la Métropole britannique ne tardera plus beaucoup à accepter le Système

(1) « The metric System has broken down hopelessly in France » (*Parliamentary Debates*, t. CLXXI, p. 1358).

(2) *Reports from Her Majesty's representatives on the metric System.*

(3) Nous avons vu, en effet, que cette adoption leur est légalement imposée; il en est de même en Égypte.

» Il est intéressant de noter que le nombre des séries d'étalons métriques de masses vérifiées annuellement au Japon est d'environ 150 000 et surpasse de douze fois le nombre des séries des autres systèmes.

» Le Système métrique était resté en Russie, en dehors de toute reconnaissance légale, jusqu'au 1^{er} janvier 1900, date à laquelle il a été déclaré légal, sous la réserve que personne ne pourra être contraint d'employer, sans son consentement, d'autres mesures que celles du Système national. Une ordonnance a imposé les mesures métriques dans la médecine militaire. Il est employé dans la géodésie et dans la science en général, et il pénètre peu à peu dans l'industrie.

» *Perfectionnement et propagande.* — L'élaboration de plus en plus complète du Système métrique, en vue de son application aux diverses industries en même temps qu'à des conditions particulières du commerce, se poursuit sans relâche par les soins de commissions internationales permanentes ou d'une existence passagère. En même temps, la propagande est activement menée, tant par les soins de l'organisation créée par la Convention du Mètre, que par des associations libres, dans les pays où le Système n'est pas encore obligatoire. La plus puissante de ces dernières associations est la Decimal Association, dont le siège est à Londres, et qui compte, parmi ses membres, un grand nombre d'hommes de science et de parlementaires.

» Par les soins de son Comité directeur, la Decimal Association multiplie les publications, les conférences, les actions personnelles; elle recueille les renseignements et les répand parmi les intéressés; elle fait enfin de grands efforts pour éclairer loyalement l'opinion sur les avantages du Système métrique, de façon à lui gagner des partisans, et à préparer la possibilité de sa déclaration obligatoire dans les pays anglo-saxons.

» Les propositions de loi dans ce sens ont été présentées à diverses reprises soit au Congrès des États-Unis, soit au Parlement britannique. Jusqu'ici, l'obligation a toujours été repoussée; mais les majorités diminuent de plus en plus et, pour les assurer, les adversaires du Système métrique ont été parfois obligés de recourir à de

regrettables exagérations. C'est ainsi que, lorsque la loi d'obligation fut présentée à la Chambre des Communes, le 22 mars 1907, M. Lloyd George, alors Ministre du Commerce du Royaume-Uni, gagna à l'opposition une majorité de 32 voix en affirmant que le Système métrique avait subi, en France, un échec désespéré ⁽¹⁾.

» Cependant, il y a une dizaine d'années, Lord Salisbury avait prié tous les représentants diplomatiques du Royaume-Uni de le renseigner sur la situation réelle du Système métrique dans tous les pays du monde. Les résultats de cette enquête ont été publiés dans deux brochures qui constituent, pour les mesures métriques, le plus convaincant des plaidoyers ⁽²⁾. Les réponses reçues sont, en effet, unanimement en faveur du Système métrique. Certaines d'entre elles sont tout à fait caractéristiques de l'universalité d'influences auxquelles les pays non encore métriques peuvent être soumis; on méditera avec intérêt tout particulièrement cette indication, donnée par M. C.-E.-W. Stringer, représentant du Royaume-Uni à Bangkok : « Les ingénieurs britanniques, employés depuis quelques années » par le Département des Travaux publics, ont adopté le Système » métrique ⁽³⁾ et, après peu de mois, déclarent invariablement sa » supériorité sur tous les autres systèmes. » En Nouvelle-Zélande, le Gouverneur est autorisé à déclarer l'obligation par simple décret. Au Canada, le Gouvernement subventionne des conférences publiques en faveur du Système métrique. Dans l'Inde et en Australie, des tentatives d'introduction sont constamment faites; et lors du couronnement du roi Édouard VII, les premiers Ministres des colonies ont émis un vote unanime en faveur d'une loi générale rendant le Système métrique obligatoire dans le commerce.

» Il semble donc certain que, soit par une action interne, soit sous la pression des colonies britanniques, ou par l'action de contact des pays avec lesquels elle entretient un commerce abondant, la Métropole britannique ne tardera plus beaucoup à accepter le Système

(1) « The metric System has broken down hopelessly in France » (*Parliamentary Debates*, t. CLXXI, p. 1358).

(2) *Reports from Her Majesty's representatives on the metric System.*

(3) Nous avons vu, en effet, que cette adoption leur est légalement imposée; il en est de même en Égypte.

métrique, soit pour les échanges commerciaux, soit pour la production industrielle.

» Les événements susceptibles d'entraîner une réforme se multiplient et sont très symptomatiques. Le Gouvernement chinois vient, par exemple, de régulariser ses poids et mesures en se ralliant (sauf pour la première division de l'unité de masse, qui reste en seize parties) au système décimal. L'unité de longueur, le *tchi*, est légalement définie comme étant égale à 0,32 m, de telle sorte que 50 tchis valent 16 m, mesure commode pour la mesure des terres dans les deux systèmes.

» Les étapes de la réforme en Chine ont été suivies avec la plus grande attention par les institutions chargées de veiller à l'expansion mondiale du Système métrique. Des avis ont été donnés au Gouvernement chinois par plusieurs représentants diplomatiques accrédités auprès de lui, en même temps que des conseils techniques étaient fournis par le Bureau international des Poids et Mesures, conformément au désir qu'il en avait exprimé à M. le Ministre de Chine à Paris, par les soins duquel ils étaient transmis à son gouvernement.

» Mais, en cette occurrence, les adversaires du Système métrique ne sont pas restés inactifs; pour ne mentionner qu'une de leurs tentatives opposées à l'influence métrique, je dirai qu'il y a un an, un certain nombre de commerçants anglais s'associèrent pour présenter à M. le Ministre de Chine à Londres une pétition faisant ressortir l'immense intérêt que présenterait l'identité des mesures de la Chine et du Royaume-Uni.

» Nous venons de voir que, très documenté sur les avantages du Système métrique, le Gouvernement chinois n'a pas fait, dans sa réforme, la plus petite place aux mesures britanniques; si donc les signataires de la pétition ont conservé les mêmes convictions, il ne leur reste plus qu'à insister auprès de leur gouvernement pour chercher à obtenir l'adoption du Système chinois; ils y gagneraient au moins de posséder un système de mesures tellement supérieur à celui des mesures britanniques qu'ils n'hésiteront plus à le perfectionner encore, en adoptant le Mètre et ses dérivés.

» *Le carat*. — Jusqu'ici, le commerce des pierres précieuses était

resté étranger à la réforme métrique. Les négociants en diamants, perles ou pierres précieuses avaient conservé l'habitude de rapporter leurs pesées au carat, et une tolérance des gouvernements, motivée par le caractère international de ce négoce, avait laissé subsister cette unité étrangère à tout système de mesures. Le carat est d'ailleurs variable d'un pays à l'autre, passant de la valeur la plus basse, de 0,188 g à Bologne, à sa valeur la plus élevée, 0,255 g en Arabie, avec une prépondérance des valeurs voisines de 0,205 g.

» L'unification du carat par l'adoption d'une valeur exprimée simplement en fonction du gramme ayant paru à la fois désirable et possible, je proposai, au début de l'année 1905, d'adopter un carat unique de 0,2 g, auquel on donnerait le nom de *carat métrique*. Cette proposition ayant été favorablement accueillie par la presse spéciale, fut présentée au Comité international des Poids et Mesures, qui lui donna son appui dans sa session d'avril 1905. Communiquée aux associations intéressées, elle provoqua de nombreuses adhésions, montrant que la réforme s'opérerait sans difficulté. La Conférence générale des Poids et Mesures, réunie en octobre 1907, sanctionna enfin le nom de *carat métrique* pour désigner, dans le commerce des pierres précieuses, la masse de 2 dg, et le Comité international communiqua cette décision aux gouvernements.

» L'initiative d'une consultation fut alors prise par le Gouvernement français, et, après qu'un nombre considérable d'adhésions lui furent parvenues, il proposa aux Chambres une loi dont l'article unique est le suivant :

« Dans les transactions relatives aux diamants, perles fines et
» pierres précieuses, la dénomination de *carat métrique* pourra,
» par dérogation à l'article 5 de la loi du 4 juillet 1837, être
» donnée au double décigramme.

» L'emploi du mot *carat* pour désigner tout autre poids demeure
» prohibé. »

» La forme de ce texte est intéressante. En régularisant la valeur du carat, on n'innove rien quant aux unités, et l'on ne consacre qu'une *dénomination* ; mais, en revanche, on affirme la défense déjà implicitement contenue dans la loi générale des poids et mesures,

et qui, en ce qui concerne *la valeur* du carat, était restée lettre morte.

» La loi du carat viendra très prochainement en discussion devant les Chambres françaises. Déjà un décret royal a sanctionné le carat métrique en Espagne; en Suisse, il a été mentionné dans le texte de la loi sur les poids et mesures actuellement en discussion; dans la plupart des autres pays, il sera légalisé aussitôt que la France aura réalisé la réforme.

» Considérée en elle-même, la réforme du carat est, par rapport à l'ensemble de la question des unités, d'importance secondaire, puisque le commerce des pierres précieuses ne rallie qu'un petit nombre d'intéressés. Mais il était devenu urgent de l'effectuer pour supprimer l'un des derniers vestiges des systèmes anciens, et pour réaliser, dans le monde entier, une unification métrique qui pourra en entraîner d'autres.

» La rapidité et la facilité avec laquelle cette réforme, partie d'une proposition personnelle, est devenue effective et mondiale, montre bien la puissance et la cohésion des organismes internationaux chargés du perfectionnement du Système métrique, en même temps que le bon vouloir des Gouvernements et du public à appuyer et à accepter toute réforme destinée à faire disparaître les plus petites exceptions à l'emploi des mesures métriques.

» *Les unités dynamiques.* — La restitution à la notion du kilogramme, de son sens véritable, a fait disparaître, des lois relatives aux poids et mesures, la définition de l'unité de force dérivée du kilogramme-masse et de l'intensité de la pesanteur. La valeur de cette dernière a été, il est vrai, introduite dans la plupart des lois récentes, non point pour la définition de l'unité de force, mais pour fixer l'unité de pression, servant à son tour à établir les points fondamentaux de l'échelle des températures.

» Cependant, la définition de l'unité de force est nécessaire en vue des transactions publiques, dans lesquelles les quantités dérivées de la force constituent un objet d'échange aussi fréquent et aussi intense que celui des quantités de matière.

» La première de toutes, la loi hongroise promulguée le 10 janvier 1907, a défini d'une façon complète les unités de toutes les

quantités usuelles de la Dynamique. Il est intéressant de reproduire les articles de la loi qui se rapportent à ces unités (1) :

» ART. 7. — L'unité de mesure de la densité est la densité (2)
» d'une matière dont un décimètre cube contient une masse de 1 kg.

» Dans les transactions publiques, la densité de l'eau pure à 4° C.
» peut être considérée comme représentant l'unité de densité (3).

» ART. 8. — L'unité de mesure de la force dans les transactions
» publiques est le kilogramme-force, c'est-à-dire le poids normal de
» la masse de 1 kg ($9,80665 \times 10^8$ unités C. G. S. de force).

» ART. 9. — L'unité de mesure du travail dans les transactions
» publiques est le kilogrammètre, c'est-à-dire le travail que 1 kilo-
» gramme-force produit par un déplacement de 1 m dans sa propre
» direction. Ce travail est égal à 9,80665 unités de Joule.

» L'unité de mesure de la puissance dans les transactions publiques
» est le cheval, c'est-à-dire la puissance qui produit en une seconde
» 75 kilogrammètres. Cette puissance est égale à $75 \times 9,80665$ watts.

» ART. 10. — L'unité de mesure de la pression dans les tran-
» sactions publiques est la pression qu'exerce 1 kilogramme-force
» uniformément réparti sur une surface de 1 cm².

» Cette pression est égale à la pression d'une colonne de mercure
» de 735,5 mm à la température de 0° C. sous l'action de la pesanteur
» normale.

» Cette mesure est aussi désignée dans le langage courant sous le
» nom de *pression atmosphérique industrielle*; elle est égale à 0,9678
» de la pression normale définie à l'article 12, 4^e alinéa (1). »

(1) Voir CH.-ÉD. GUILLAUME, *Les récents progrès du Système métrique* (Rapport présenté à la quatrième Conférence générale des Poids et Mesures, réunie à Paris en octobre 1907).

(2) Nous dirions *masse spécifique* ou, suivant le néologisme expressif d'Hospitalier, *masse volumique*.

(3) Dans notre terminologie, le second alinéa de l'article serait modifié de la manière suivante : *La densité de l'eau pure à 4° est l'unité de densité*. Il est évident cependant que la pensée du législateur hongrois est concordante avec la nôtre : les termes seuls dont il se sert diffèrent de ceux auxquels les physiciens de langue française se sont ralliés en majorité.

(4) L'article 12 est relatif à la température; la connaissance de la pression est nécessaire pour la définition des points de congélation et d'ébullition de l'eau.

» Dans la loi hongroise, les définitions des unités dynamiques sont donc très complètes et ne laissant place à aucune ambiguïté. Cette loi, qui réalise un progrès considérable sur toutes les précédentes, souffre cependant encore d'un défaut : on y voit apparaître, dès la définition de la force, un commentaire explicatif fondé sur la connaissance du Système C. G. S., que le lecteur est, par conséquent, censé connaître. On en retrouve plus loin l'application aux unités électriques pratiques données dans l'ordre habituel : ohm, ampère, volt, joule, watt. Ainsi, les unités dynamiques C. G. S., absolues ou pratiques, sont déduites des unités électriques mesurant les quantités dont le produit fournit du travail ou de la puissance. Et, s'il est vrai que la loi est parfaitement correcte et absolument complète dans toutes ses parties, on peut néanmoins regretter que la fusion n'ait pas été faite entre les deux groupes d'unités de la dynamique, et que les unes soient déduites uniquement du kilogramme-force, alors que les autres empruntent le chemin plus détourné des grandeurs électriques.

» On ne peut nier toutefois que l'exemple donné par le législateur hongrois doive être très fécond. Avoir rassemblé, en une seule et même loi, toutes les quantités dont la mesure s'impose en vue des transactions commerciales est un mérite que nous devons apprécier très hautement.

» Le progrès suivant devra consister, semble-t-il, à réaliser l'amalgame complète des deux systèmes d'unités dynamiques; et, pour y parvenir, il suffirait d'aborder l'unité de force par un article de loi qui serait conçu, par exemple, en ces termes :

« L'unité fondamentale de force est la force qui communique à
» la masse de 1 kg une accélération de $10 \text{ m} : \text{sec}^2$. Cette unité de
» force porte le nom de *mégadyne*.

» Dans les transactions publiques, on emploiera également,
» comme unité de force, l'effort statique exercé par la masse de
» 1 kg soumise à l'action normale de la pesanteur; cette unité de
» force sera dénommée le *kilogramme-force*.

» L'action normale de la pesanteur est celle qui communiquerait à
» un corps tombant librement une accélération de $9,80665 \text{ m} : \text{sec}^2$.
» Le kilogramme-force est donc égal à $0,980665$ mégadyne.

» Les multiples et les sous-multiples décimaux des unités fondamentales de force constituent les unités secondaires de même espèce; les multiples et les sous-multiples du kilogramme-force sont dénommés en partant du nom des unités de masse qui leur donnent naissance (exemple : gramme-force, tonne-force). »

» Partant de cette unité de force, on développerait parallèlement les deux systèmes d'unités dynamiques, celles des physiciens et celles des mécaniciens; l'article fondamental donnant la genèse de l'un et de l'autre système, leur coexistence serait par là même expliquée. Le système des physiciens deviendrait légal, même en dehors de toutes spécifications relatives aux unités électriques; et, pour finir, toutes les relations gagneraient en clarté et en simplicité.

» Aujourd'hui, le terrain semble suffisamment préparé, par une évolution graduelle des textes de loi, en même temps que par la diffusion des saines notions concernant les unités de la dynamique, pour qu'aucune difficulté ne s'oppose à l'adoption du plan que je viens d'exposer. »

M. le PRÉSIDENT. — « Je remercie M. Guillaume du remarquable exposé, si bien documenté, qu'il vient de faire de l'état actuel du Système métrique dans le monde. Je n'ai pas besoin de vous dire quel ardent propagandiste du Système métrique est M. Guillaume; beaucoup d'entre vous le savaient déjà, et ceux qui l'ignoraient viennent de s'en rendre compte.

» Ce que M. Guillaume n'a pas assez dit, et qu'il est de mon devoir de souligner, c'est qu'une bonne part des succès remportés dans le monde entier par le Système métrique est due à son action continue et opiniâtre, sans oublier celle due à M. Benoît. »

M. D. BERTHELOT fait une Communication sur l'*Usine de St-Denis*. Le texte de cette Communication sera publié dans un prochain *Bulletin*.

La Séance est levée à 11^h.

BIBLIOGRAPHIE.

Annuaire des Longitudes pour 1909. 1 volume. Paris, Gauthier-Villars.

L'*Annuaire* du Bureau des Longitudes parut pour la première fois en 1796; il se rapportait à l'an V (1796-1797). Le présent Volume est donc le 113^e de la collection.

Selon la disposition adoptée en 1904, en vue de donner plus de développement aux renseignements qu'il publie alternativement depuis cette époque, l'*Annuaire* de 1909 contient, outre la matière habituelle, des tableaux détaillés relatifs à la Métrologie aux Monnaies, à la Géographie, à la Statistique et à la Météorologie. Deux importantes Notices le complètent : l'une, due à M. Bigourdan, sur *Les étoiles variables*; l'autre, à M. Lallemand, sur les *Mouvements et déformation de la croûte terrestre*.

Les rayons cathodiques, par P. VILLARD (2^e édition). In-8° de 107 pages, avec 48 figures de la *Collection Scientia*, Paris, Gauthier-Villars.

Cette nouvelle édition a été l'objet de remaniements importants : certains Chapitres ont été entièrement transformés et le plan même de l'Ouvrage a été quelque peu modifié.

Dès le début sont indiqués les appareils spéciaux et méthodes employés par l'auteur pour l'étude des rayons cathodiques et des phénomènes produits par le passage de l'électricité dans les gaz. Un Chapitre nouveau a été consacré à la description des propriétés fondamentales des rayons X et à la définition des ions.

La balistique des corpuscules cathodiques fait l'objet d'un exposé très simple et très complet : les calculs ont été remplacés par des démonstrations nouvelles tout à fait élémentaires; les principaux problèmes, relatifs aux trajectoires et à la vitesse des corpuscules, sont traités *in extenso* par des méthodes purement géométriques et suivis d'applications numériques, de manière à faciliter l'introduction de l'Ouvrage dans l'enseignement des récentes conquêtes de la Physique moderne.

La notion de *masse électromagnétique* est exposée dans le dernier Chapitre sous une forme à la fois très simple et suffisamment rigoureuse.

Enfin, des photographies de faisceaux cathodiques et de rayons à charge positive, faites par l'auteur même, constituent autant de documents inédits qui viennent illustrer cette seconde édition des *Rayons cathodiques*.

La télégraphie sans fil et la télé mécanique à la portée de tout le monde, par E. MONIER (1^{re} édition). 1 volume. Paris, Dunod et Pinat, 1908.

La quatrième édition de cet Ouvrage, dont le *Bulletin* a rendu compte lors de sa publication, il y a 2 ans, signale les dernières découvertes relatives à la télégraphie sans fil et à la syntonisation.

Après avoir passé en revue les principales stations du monde, parmi lesquelles se trouve celle de la tour Eiffel, l'auteur s'occupe de la télégraphie sans fil ou radiotélégraphie et de la télé mécanique. Dans un supplément, il donne les conditions de réalisation de l'arc chantant, le principe de la radiotéléphonie et, devant ces conceptions merveilleuses, se demande s'il n'est pas permis de prédire, à l'imitation de J. Verne, la découverte prochaine de la télévision, faisant suite à celle de la téléphotographie.

Construction des induits à courant continu, coussinets, paliers, etc., par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET. 1 volume de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*. Paris, Gauthier-Villars; Masson et C^{ie}.

Ce Volume forme, en quelque sorte, la troisième Partie du remarquable travail publié par MM. Brunswick et Aliamet, sous le titre générique de *Construction des induits à courant continu* : la première Partie ayant plus particulièrement pour objet l'armature, le croisillon et le collecteur; la deuxième, l'arbre et ses tourillons; alors que la troisième, celle qui vient de paraître, est consacrée aux coussinets, aux paliers qui les supportent et à l'examen des organes de transmission, c'est-à-dire aux poulies et aux courroies.

Coussinets et paliers sont rangés en deux catégories, suivant qu'ils sont destinés à des tourillons glissants ou qu'ils sont à roulement, et, comme l'application des roulements à billes aux dynamos offrent des avantages fort appréciés des constructeurs, les auteurs se sont étendus sur ce sujet en rappelant les expériences faites sur le roulement des billes et en donnant des valeurs numériques puisées aux meilleures sources.

Quant aux difficultés de réalisation que présente la commande des dynamos par courroie, à raison des grandes différences de vitesse angulaire des poulies à réunir par ce genre de lien, ils démontrent qu'elles peuvent être efficacement résolues par l'emploi d'un dispositif très peu connu (enrouleur Leneveu) et dont ils indiquent le principe appuyé par quelques exemples de son application.

En traitant ces questions avec leur compétence reconnue et leur précision habituelle, les auteurs ont dû les condenser partiellement et se maintenir dans le cadre restreint au format de la collection; mais ils ont pris le soin scrupuleux d'indiquer, dans un index bibliographique, les Ouvrages, Mémoires et Albums classiques auxquels, le cas échéant, il conviendrait au lecteur de se reporter.

Les fours électriques et leurs applications (2^e édition), par AD. MINET. 1 volume de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*, Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}.

Depuis l'apparition de cet Ouvrage, l'industrie du Four électrique s'est considérablement développée : elle embrasse maintenant toutes les parties de la Métallurgie et de la Chimie par voie sèche, et les modèles de fours employés offrent une très grande variété, tant par les principes qui leur servent de base que par leurs dispositifs.

Aussi, est-ce un Livre complètement remanié et presque entièrement nouveau que l'auteur présente aujourd'hui au lecteur. Il contient deux Parties principales : la pre-

mière est réservée aux définitions, à l'historique général et à la classification des fours électriques; la deuxième, purement descriptive, passe en revue les fours présentant un intérêt plus spécial au point de vue historique, scientifique ou industriel.

Électrométallurgie : voie humide, voie sèche ; phénomènes électrothermiques (2^e édition), par M. AD. MINET. 1 vol. de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*, Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}.

L'auteur, spécialiste notoire dans les questions d'Électrométallurgie, a mis à profit la réimpression de son travail pour y introduire les informations relatives aux progrès récemment réalisés dans la préparation et l'affinage des métaux et alliages.

Il y a conservé, néanmoins, l'ordre d'exposition primitivement établi et d'après lequel le traitement électrique des métaux s'y trouve réparti en deux sections, selon qu'il s'agit des opérations effectuées par voie humide ou par voie sèche : la première se subdivise en trois groupes et la seconde en cinq.

Les phénomènes électrothermiques (fusion, volatilisation, etc.) sont résumés dans une troisième Partie de cet Ouvrage, qui débute par des considérations générales sur les grandeurs physiques, les formules de constitution, les symboles et les unités.

Guide-Manuel pratique de l'Ouvrier électricien, par H. DE GRAFFIGNY, 1 vol. in-12 (3^e édition). Paris, H. Desforges ; 1909.

Les récentes découvertes et les nombreuses inventions dont, en peu d'années, l'Électrotechnique s'est enrichie, ont également incité M. de Graffigny à remanier et à compléter son *Guide-Manuel de l'Ouvrier électricien*.

Tout en conservant le plan général qu'il avait adopté dans la première édition, il a introduit dans son Ouvrage les additions et corrections devenues indispensables ; ce faisant, il s'est efforcé de rester fidèle au titre de *Manuel pratique* afin de permettre aux amateurs d'électricité et aux ouvriers de le consulter fructueusement pour connaître, d'une part, les appareils nouvellement créés ; d'autre part, les moyens de les utiliser, de les mettre en place et de les réparer.

Signalons une innovation qui sera très appréciée des lecteurs intéressés : c'est l'adjonction, au début du Volume, d'un *vocabulaire* des termes techniques que les électriciens emploient couramment et dont l'assimilation facilitera grandement la lecture des explications qui suivent.

Enfin, l'auteur a donné plus d'importance aux indications purement pratiques, en restreignant les descriptions au strict nécessaire et en réduisant les données mathématiques à leur plus simple expression.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Agenda Dunod pour 1909 : Électricité, par J.-A. MONTPELLIER. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908; 1 vol. in-8, relié en peau souple. (Don des éditeurs.)

Alfred Potier, Inspecteur général des Mines, membre de l'Institut. Sa vie, ses travaux, par M.-A. LIÉNARD. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908; 1 brochure in-8. (Don de l'auteur.)

Commission internationale de Photométrie, instituée par le Congrès international du Gaz en 1900. *Deuxième session* : Zurich, juillet 1907. — *Recueil des travaux et Compte rendu des séances*, publié par les soins de la SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE. Paris, Société technique du Gaz, 1908; 1 vol. in-8, broché. (Don de la Société technique de l'Industrie du Gaz.)

Exposition (L') d'Électricité de Marseille. L'électricité dans la région méditerranéenne (Extrait de *La Revue électrique*, t. X, 1908). Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-4, broché. (Don de La Revue électrique.)

Four (Le) électrique, son origine, ses transformations et ses applications, par ADOLPHE MINET. 3^e fascicule. Paris, H. Desforges, 1908; 1 fascicule grand in-8, broché. (Don de l'éditeur.)

Merveilles (Les) de la Science, par LOUIS FIGUIER. Nouvelle édition, revue, corrigée et mise à jour par Max de Nansouty. Préface de M. ALFRED PICARD, Membre de l'Institut. T. I : *Chaudières et Machines à vapeur*. Paris, Boivin et C^{ie}, 1908; 1 vol. grand in-8, broché. (Don de l'éditeur.)

Télégraphie (La) sans fil et les applications pratiques des ondes élec-

mière est réservée aux définitions, à l'historique général et à la classification des fours électriques; la deuxième, purement descriptive, passe en revue les fours présentant un intérêt plus spécial au point de vue historique, scientifique ou industriel.

Électrométallurgie : voie humide, voie sèche ; phénomènes électrothermiques (2^e édition), par M. AD. MINET. 1 vol. de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*, Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}.

L'auteur, spécialiste notoire dans les questions d'Électrométallurgie, a mis à profit la réimpression de son travail pour y introduire les informations relatives aux progrès récemment réalisés dans la préparation et l'affinage des métaux et alliages.

Il y a conservé, néanmoins, l'ordre d'exposition primitivement établi et d'après lequel le traitement électrique des métaux s'y trouve réparti en deux sections, selon qu'il s'agit des opérations effectuées par voie humide ou par voie sèche : la première se subdivise en trois groupes et la seconde en cinq.

Les phénomènes électrothermiques (fusion, volatilisation, etc.) sont résumés dans une troisième Partie de cet Ouvrage, qui débute par des considérations générales sur les grandeurs physiques, les formules de constitution, les symboles et les unités.

Guide-Manuel pratique de l'Ouvrier électricien, par H. DE GRAFFIGNY, 1 vol. in-12 (3^e édition). Paris, H. Desforges ; 1909.

Les récentes découvertes et les nombreuses inventions dont, en peu d'années, l'Électrotechnique s'est enrichie, ont également incité M. de Graffigny à remanier et à compléter son *Guide-Manuel de l'Ouvrier électricien*.

Tout en conservant le plan général qu'il avait adopté dans la première édition, il a introduit dans son Ouvrage les additions et corrections devenues indispensables ; ce faisant, il s'est efforcé de rester fidèle au titre de *Manuel pratique* afin de permettre aux amateurs d'électricité et aux ouvriers de le consulter fructueusement pour connaître, d'une part, les appareils nouvellement créés ; d'autre part, les moyens de les utiliser, de les mettre en place et de les réparer.

Signalons une innovation qui sera très appréciée des lecteurs intéressés : c'est l'adjonction, au début du Volume, d'un *vocabulaire* des termes techniques que les électriciens emploient couramment et dont l'assimilation facilitera grandement la lecture des explications qui suivent.

Enfin, l'auteur a donné plus d'importance aux indications purement pratiques, en restreignant les descriptions au strict nécessaire et en réduisant les données mathématiques à leur plus simple expression.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

Agenda Dunod pour 1909 : Électricité, par J.-A. MONTPELLIER. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908; 1 vol. in-8, relié en peau souple. (Don des éditeurs.)

Alfred Potier, Inspecteur général des Mines, membre de l'Institut. Sa vie, ses travaux, par M.-A. LIÉNARD. Paris, H. Dunod et E. Pinat, 1908; 1 brochure in-8. (Don de l'auteur.)

Commission internationale de Photométrie, instituée par le Congrès international du Gaz en 1900. *Deuxième session : Zurich, juillet 1907. — Recueil des travaux et Compte rendu des séances*, publié par les soins de la SOCIÉTÉ TECHNIQUE DE L'INDUSTRIE DU GAZ EN FRANCE. Paris, Société technique du Gaz, 1908; 1 vol. in-8, broché. (Don de la Société technique de l'Industrie du Gaz.)

Exposition (L') d'Électricité de Marseille. L'électricité dans la région méditerranéenne (Extrait de *La Revue électrique*, t. X, 1908). Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-4, broché. (Don de La Revue électrique.)

Four (Le) électrique, son origine, ses transformations et ses applications, par ADOLPHE MINET. 3^e fascicule. Paris, H. Desforges, 1908; 1 fascicule grand in-8, broché. (Don de l'éditeur.)

Merveilles (Les) de la Science, par LOUIS FIGUIER. Nouvelle édition, revue, corrigée et mise à jour par Max de Nansouty. Préface de M. ALFRED PICARD, Membre de l'Institut. T. I : *Chaudières et Machines à vapeur*. Paris, Boivin et C^e, 1908; 1 vol. grand in-8, broché. (Don de l'éditeur.)

Télégraphie (La) sans fil et les applications pratiques des ondes élec-

triques, par ALFRED TURPAIN. 2^e édition. Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-8, cartonné (Bibliothèque technologique). (*Don de l'éditeur.*)
Traction électrique. Construction et projets, par G. SATTLER. Ouvrage traduit de l'allemand par PIERRE GIROT. Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-8, cartonné (Bibliothèque générale des Sciences). (*Don de l'éditeur.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 54. — Remarques sur les systèmes d'unités à propos de la Communication de M. Brylinski (M. D. Berthelot), p. 57. — État actuel des lampes à incandescence à filaments métalliques, par M. A. Blondel (M. Larnauze), p. 79. — Résultats d'essais effectués au Laboratoire central d'Électricité sur les lampes à filaments métalliques (M. Laporte), p. 111.

BIBLIOGRAPHIE, p. 131.

OUVRAGES OFFERTS, p. 135.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 3 février 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. P. BOUCHEROT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

(voir p. 135), d'un don pour l'École et des demandes d'admission suivantes :

- Amiaud** (Pierre-Paul), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 68, rue Claude-Bernard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Barthélemy** (Eugène-Léon-Pierre), Ingénieur de la traction et du matériel roulant à la Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine, 26, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). — Présenté par MM. Janet et H. Maréchal.
- Barthélemy** (Henri-Joseph-Marie), Ingénieur stagiaire à la *Compagnie d'Électricité de Marseille*, 9, rue d'Arcole, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Berger** (Maurice), à Ahun (Creuse). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Berland** (Louis), Ingénieur à la *Compagnie d'Électricité de l'Ouest-Lumière*, Ingénieur-Conseil à la *Société des Usines à gaz du Nord et de l'Est*, 3, avenue de Vitry, à Villejuif (Seine). — Présenté par MM. Boucherot et Langlade.
- Boursy** (Maurice-Louis-Charles), Sapeur au 5^e Génie, attaché au Service de la Télégraphie sans fil, 8, rue Coëtlogon, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Dotta** (Andréa), Ingénieur électricien à la *Société Ilva de Gênes*, 2, via del Pozetto, à Savone (Italie). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Everlin** (Maurice), Ingénieur aux mines de Liévin, 88, rue J.-B.-Dolnez, à Liévin (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Gely** (Edmond), Ingénieur électricien attaché à la *Compagnie du Chemin de fer du Midi*, 24, place de la Bourse, à Toulouse (Haute-Garonne). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Ledieu** (Charles-Victor), Auditeur libre à l'*École supérieure d'Électricité*, Élève au *Laboratoire central d'Électricité*, 14, villa Sainte-Anne, à Asnières (Seine). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Leroy** (Gustave-Jacques-Henri), Ingénieur à la *Société pour l'exploitation des procédés Goldschmidt*, 30, rue de Flandre, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et O'Keenan.
- Malandrin** (Jacques-Henri-Joseph), Ingénieur stagiaire au *Bureau technique de l'Électricité*, Office d'Ingénieurs-Conseils, 96, rue La Fontaine, à Paris. — Présenté par MM. Chaumat et Guilbert.
- Pavie** (Georges-Louis), Ingénieur à la *Compagnie générale de Distribution d'énergie électrique*, 5, avenue des Écoles, à Vitry-sur-Seine (Seine) — Présenté par MM. Garfield et Rechniewski.
- Roundo** (Alfred), Ingénieur attaché à la *Direction des Voies de communication de la région de Saint-Petersbourg*, et à l'*Institut impérial des Ingénieurs des Voies de communication*, Préparateur au *Laboratoire électrotechnique de l'Institut des Ingénieurs des Voies de communication*, 17, rue Bronnitskaia, à Saint-Petersbourg (Russie). — Présenté par MM. Laporte et Jouaust.
- Santa Maria** (Richard De), Recteur de la *Faculté de Mathématiques et Génie civil de Bogota* (Colombie), 16, rue Pierre-Charron, à Paris. — Présenté par MM. Bourguignon et Iliovici.
- Walter** (André-Maurice-Frédéric), Ingénieur électricien *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, 26, avenue des Fosses, à Montbéliard (Doubs). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT. — « Messieurs, je ne puis laisser passer le décès de notre collègue M. Coiseau, grand entrepreneur de travaux publics, ancien Président de la Société des Ingénieurs civils de France, sans rappeler en quelques mots les services rendus par lui à l'industrie électrique. M. Coiseau a été un des plus ardents promoteurs des applications électromécaniques, et le premier qui en ait fait un usage méthodique, aujourd'hui général, sur les chantiers de travaux publics.

» Directeur des travaux du quai d'Anvers, qui durèrent de 1877 à 1885, il procéda à l'éclairage des caissons et du chantier par des bougies Jablochkoff; ce fut la première application de ce genre. Un peu plus tard, vers 1890, pour les travaux du port de Bilbao, il mit en évidence tout le parti qu'on peut tirer de l'Électricité, en faisant complètement équiper électriquement ce chantier par nos collègues MM. Hillairet et Huguet. On vit là pour la première fois plusieurs dispositifs intéressants, parmi lesquels trois appareils de levage, de transport et de mise à bord pour blocs de 100 t, manœuvrés électriquement.

» Il en fut de même dans tous les grands travaux que M. Coiseau entreprit dans la suite : ceux du port de Bruges, en 1895, où l'on remarqua un titan de 50 t avec bras de 25 m et de 25 t avec bras de 50 m; ceux du port de Montevideo en 1901 et ceux du tunnel du Loetschberg en 1906, comportant deux stations centrales, l'une à la tête nord, l'autre à la tête sud, avec environ 4000 kilowatts de moteurs divers, employés en grande partie à la compression de l'air pour les perforatrices.

» Nous devons donc honorer doublement la mémoire de M. Coiseau : parce qu'il fit le plus grand honneur au génie français et parce qu'il fut des premiers à proclamer les bienfaits de l'Électricité. »

M. le Président donne connaissance de la lettre suivante, qu'il adresse aux Membres de la Société.

« Monsieur et cher Collègue,

» Quelques-uns d'entre nous ont constaté que l'interprétation exacte des Lois, Décrets, Arrêtés, Instructions, Circulaires, etc., concernant l'Industrie électrique, n'est pas toujours très facile, et que les fonctionnaires chargés de veiller à leur application ne le font pas, eux-mêmes, d'une manière toujours exempte de toute critique.

» Je pense que c'est le rôle d'une Société technique comme la nôtre d'examiner ces documents, au point de vue *purement technique*, et de dire quelles sont les lacunes, les ambiguïtés, les contradictions qu'elle y trouve, et comment, à son sens, ils doivent être interprétés dans les cas douteux. Elle ne sortirait pas de son rôle en disant même, le cas échéant, que telle ou telle partie d'un document est préjudiciable au développement de l'Électricité et devrait être, en conséquence, revue ou supprimée.

» L'étude de cette question étant du ressort des 1^{re} et 4^e Sections du Comité, ces Sections, réunies pour la circonstance, ont décidé de demander à tous les membres de la Société, par la voie du *Bulletin*, de bien vouloir leur faire connaître les faits intéressants qui ont pu être portés à leur connaissance, ou les difficultés particulières qu'ils ont pu rencontrer dans cet ordre de choses.

» Je vous prie donc de bien vouloir m'écrire si vous avez une communication à nous faire à cet égard et si vous désirez être convoqué aux réunions où cette question sera discutée.

» Veuillez agréer, etc. »

Le Président de la Société,
BOUCHEROT.

Des remerciements sont adressés à la *Compagnie anonyme continentale des Compteurs*.

1 compteur cosinus M. E., de 10 ampères et 110 volts.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

REMARQUES SUR LES SYSTÈMES D'UNITÉS.

« M. Daniel BERTHELOT. — La très lucide et suggestive Communication que M. Brylinski a présentée dans notre dernière séance sur les systèmes de mesures soulève une série de problèmes si variés, que je vous demande aujourd'hui la permission de revenir sur quelques-uns d'entre eux, qui n'ont été qu'incomplètement abordés dans les intéressantes réflexions de MM. Pellat, Janet et Devaux-Charbonnel.

» Laissant de côté certaines des opinions exprimées par M. Brylinski, telles que la décimalisation du temps, sur lesquelles j'estime, comme M. Janet, qu'il y aurait des réserves à faire, je dirai d'abord quelques mots sur le manque de cohérence qui existe entre le système théorique C. C. S. et le système dit *pratique*. Ce dernier système a le grave inconvénient d'introduire dans la définition des unités une série d'exposants tout à fait arbitraires et dont le choix n'a pas toujours été des plus heureux. Que l'on se rappelle seulement le Tableau :

Unité pratique.	Valeur en unités électromagnétiques.
Ohm.....	10^9
Volt.....	10^8
Ampère.....	10^{-1}
Coulomb.....	10^{-1}

» Il est bien difficile de penser qu'il n'eût pas mieux valu choisir l'ohm et le volt de façon que l'ampère et le coulomb fussent égaux aux unités théoriques. C'était là d'ailleurs, si je ne me trompe, l'opinion de Lord Kelvin, en 1881.

» Tel est pourtant l'avantage d'avoir un ensemble même imparfait d'unités, qui soit adopté par tout le monde, que le système pratique a rendu de grands services. En fait, il a suffi aux besoins des électriciens tant qu'on n'a eu à faire intervenir dans les calculs courants que les grandeurs électriques et électromagnétiques pour lesquelles il avait été imaginé.

» Mais, au fur et à mesure que se précisait la notion du circuit magnétique et qu'apparaissait mieux son utilité pour le calcul des

dynamos, s'introduisaient dans les formules des grandeurs magnétiques auxquelles aucune place n'avait été faite dans le système pratique. Ces intruses sont venues tout troubler, et nous assistons aujourd'hui à ce paradoxe que, dans les cas complexes, les praticiens sont amenés à faire leurs calculs avec les unités théoriques, et, seulement quand ils sont arrivés à la fin, à traduire les résultats en unités pratiques. Ce n'est pas précisément là le but qu'avaient eu en vue les fondateurs du système.

» Était-il vraiment nécessaire, comme ils l'ont cru, de superposer au système théorique un système dit *pratique*?

» La raison qu'on en donne communément est que certaines unités sont trop petites et d'autres trop grandes pour l'usage courant, et que notre esprit se représente mieux la réalité quand elle est exprimée par des nombres d'un ordre de grandeur moyen. J'avouerai que je suis assez sceptique sur ce point, et que l'utilité des hectos ou des kilos me paraît bien problématique, pour ne rien dire des micros ou des mégas. Ce qui me confirme dans cette hérésie, c'est que je vois une unité pour laquelle on n'a pas éprouvé le besoin de créer des multiples; et c'est peut-être la plus employée de toutes : c'est l'unité monétaire. Y verrons-nous vraiment plus clair dans nos comptes le jour où nos billets de 1000 fr seront baptisés de *kilofrancs*? Ou bien se ferait-on une plus haute idée de la puissance d'une société si l'on disait qu'elle est au capital de 10 *mégafrancs* au lieu de dix millions? Et même il faudrait des kilomégas pour ne pas rester en arrière de la réalité quand il s'agirait de certains emprunts d'État.

» Eh bien! si nous nous rendons un compte suffisamment clair de ce que représentent mille francs, ou un million de francs, sans avoir besoin d'unités spéciales, pourquoi n'en serait-il pas de même ailleurs?

» Au vrai, quand on s'occupe d'une question donnée, on reste le plus souvent dans le même ordre de grandeur.

» Je ne m'étonnerai donc pas qu'on évalue le diamant au carat et le charbon à la tonne. Cependant les chimistes prétendent que c'est le même corps : mais les lapidaires n'en croient rien. C'est pour leurs trébuchets que travaille en ce moment notre savant collègue M. Guillaume.

» C'est là ce qui rend un peu illusoire les unités dites *pratiques*. M. Brylinski remarquait fort bien que l'ohm, beaucoup trop grand pour mesurer la résistance d'une barre de cuivre, est beaucoup trop petit pour mesurer celle d'un câble.

» Dans tout cela il y a surtout une question d'accoutumance : un épicier tient sa comptabilité en francs; un ministre des finances la tient en millions de francs. Je ne voudrais pas jurer qu'un épicier auquel il manque 40 fr dans sa caisse ne soit pas plus troublé qu'un ministre des finances auquel il manque 40 millions dans son budget.

» Et je n'ai jamais remarqué qu'un ouvrier qui lit sur son wattmètre que la puissance de la turbine qu'il conduit passe de 5000 à 6000 kilowatts crût avoir une idée moins adéquate du phénomène qu'un automobiliste dont l'indicateur de puissance en montant une côte passe de 4 kilowatts à 7 kilowatts.

» Tout ceci pour conclure qu'il n'était peut-être ni indispensable, ni même bien utile de superposer un système pratique quelque peu bâtard au système théorique.

» Celui-ci aurait suffi. Je l'aborde maintenant. M. Brylinski a insisté avec raison sur la contradiction qu'il y a entre le système électrostatique et le système électromagnétique, et il a mis, avec sa précision habituelle, le doigt sur l'origine de cette contradiction, qui dérive tout entière de la suppression des coefficients k et μ qui doivent figurer dans l'expression des lois de Coulomb sur les attractions électriques ou magnétiques

$$(1) \quad f_e = \frac{1}{k} \frac{q^2}{r^2} \quad (\text{électricité}),$$

$$(2) \quad f_m = \frac{1}{\mu} \frac{m^2}{r^2} \quad (\text{magnétique}),$$

» k et μ représentent des propriétés physiques du milieu : k la capacité inductive spécifique et μ la perméabilité magnétique.

» Ce sont là les relations fondamentales que l'on écrit tout d'abord. On pose ensuite les relations usuelles électromagnétiques, électrodynamiques, électrocalorifiques. Je n'y insiste pas. On a quelquefois discuté sur la meilleure manière de procéder. Ainsi Maxwell, pour relier l'électricité et le magnétisme, adoptait l'équa-

tion de Biot et Savart (action d'un élément de courant sur un pôle) :

$$(3) \quad f = \frac{mi ds \sin \alpha}{r^3}.$$

» Clausius préférait partir de l'équivalence d'un feuillet magnétique avec un courant fermé. Au fond, cela revient au même. Une autre relation, celle qui fait de la quantité d'électricité l'intégrale de temps du courant,

$$(4) \quad q = it,$$

a été très vivement contestée par certains théoriciens. Pour Joseph Bertrand, par exemple, c'était une relation purement arbitraire : « On accepte, dit-il, comme une réalité, une conception que rien ne justifie sur la nature d'un courant. »

» Les critiques d'un esprit aussi sagace et pénétrant sont de nature à nous faire réfléchir. Cette opinion de Bertrand n'est pas celle des physiciens ; mais elle est restée celle de bien des mathématiciens. On l'a vu il y a quelques années quand un ingénieur expérimentateur annonça qu'une charge électrique en mouvement ne produit pas de champ magnétique. Ce qui revenait au fond à nier la validité de l'expression (4). Lord Kelvin n'hésita pas : avec cette vivacité primesautière qu'ont encore admirée ceux qui ont eu le privilège de l'approcher à Paris, lorsqu'il y vint en 1900, il s'écriait : « Messieurs, sans avoir vu les appareils de M. Crémieu, » je puis vous assurer que vous ne risquez pas de vous tromper, » en affirmant hautement avec moi qu'une charge statique en mouvement détermine un champ magnétique. »

» En France, au contraire, un mathématicien éminent, M. Poincaré, prêta longtemps l'appui d'une attitude favorable à ces expériences paradoxales.

» L'attitude de Lord Kelvin, dira-t-on peut-être, était peu scientifique. Cependant, si un physicien apportait demain une expérience mettant en défaut le principe d'Archimède, la plupart des savants préféreraient douter de l'expérience plutôt que du principe. Le contraste entre l'attitude de deux autorités aussi hautes que Lord Kelvin et M. Poincaré montre simplement que le premier regardait la formule (4) comme l'expression d'une vérité physique

bien démontrée, tandis que le second partageait au fond les doutes de Bertrand. Si j'ai rappelé cette histoire qui est d'hier, c'est pour qu'il soit bien entendu que nous sommes ici dans le domaine de la Physique, et non pas dans celui des Mathématiques, et qu'il est malaisé d'arriver, dans les problèmes tels que celui des unités et les dimensions, à une rigueur qui satisfasse pleinement les esprits géométriques.

» Laissant de côté ces objections qui touchent plutôt à la forme et font trop bon marché de la réalité physique, nous constatons que, désignant par L , M , T les trois grandeurs fondamentales de la Mécanique, on arrive à un nombre de relations suffisant pour déterminer toutes les grandeurs électriques ou magnétiques, soit en fonction de L , M , T , k , soit en fonction de L , M , T , μ .

» Si dans ces équations on fait

$$k = 1,$$

ce qui suppose que k soit de dimensions

$$(5) \quad [k] = [L^0 M^0 T^0],$$

on obtient le système électrostatique.

» Si, au contraire, on suppose

$$(6) \quad [\mu] = [L^0 M^0 T^0],$$

on obtient le système électromagnétique.

» A-t-on le droit de faire ces suppositions ? Pour ma part, je pense que cela présente de sérieux inconvénients.

» Tel n'est pas, je le sais, l'avis de certains des orateurs de la dernière séance. M. Janet nous a dit que, les systèmes d'unités ne représentant que de simples conventions, on ne peut pas dire qu'une convention est exacte ou inexacte, mais simplement commode ou incommode. On pourrait faire le même raisonnement pour presque tous les phénomènes physiques. Toutes nos lois comportent une part de convention. Si l'on considère un tournebroche, on peut dire que le tournebroche tourne dans la cheminée : c'est une convention ; ou bien l'on peut dire que c'est la cheminée avec la maison, le sol qui la supporte et les arbres qui y sont plantés, qui tournent autour du tournebroche : c'est une autre convention. Mais de ces deux conven-

tions, il y en a une qui est évidemment plus simple que l'autre. Pour un philosophe, les deux conventions se valent. Pour un physicien, il en va autrement. Et je n'estime pas qu'il soit indifférent, pour ce dernier, de faire l'une ou l'autre convention. S'il se borne à considérer le mouvement de deux corps, le principe de relativité ne lui permet pas de choisir; mais, dès qu'il envisage les corps voisins, il ne tarde pas à voir que l'une des suppositions présente des phénomènes une image simple, tandis que l'autre le conduit à des difficultés croissantes et presque inextricables.

» Sans doute, j'accorderai à M. Janet que l'on est libre de faire telle convention que l'on veut, si l'on se borne à regarder un système d'équations de dimensions comme une série de recettes pratiques, un simple formulaire permettant de trouver la valeur numérique d'une grandeur lorsqu'on passe d'un système d'unités à un autre.

» Mais à côté de ce point de vue, un peu étroit, qui enlève tout intérêt physique à la question des dimensions, il en est un autre plus large qui fait ressortir le parallélisme existant entre l'ordre mathématique et l'ordre physique, et qui nous montre dans les équations de dimensions un moyen, sinon suffisant, du moins souvent fort utile, pour arriver à pénétrer la nature des phénomènes étudiés.

» Et comme la question des dimensions des unités est intimement liée à celle des dimensions des grandeurs, je crois qu'il vaut mieux éviter d'introduire dans les formules des conventions mathématiques qui, imaginées simplement pour faciliter des calculs numériques, conduisent dans l'ordre physique à des contradictions comme celles qui existent entre le système électrostatique et le système électromagnétique.

» Au fond, dans le cas présent, il s'agit de savoir si l'on peut imaginer un mode de représentation purement mécanique des phénomènes électriques et magnétiques. Vous savez que c'est une question qui a préoccupé au plus haut point plusieurs des maîtres les plus illustres de l'école anglaise. Maxwell et Lord Kelvin y ont consacré le meilleur de leurs efforts. Ils sont arrivés à la conclusion que les équations générales des phénomènes électriques et magnétiques rendent possible cette interprétation purement mécanique.

S'il en est ainsi, on doit trouver un système de dimensions cohérent qui permette de représenter toutes les unités électriques ou magnétiques en fonction des seules grandeurs mécaniques L , M , T . Assurément, la connaissance de ce système ne sera pas suffisante pour édifier une théorie mécanique des phénomènes ; mais elle en constituera cependant un des éléments nécessaires. Si le jeu des symboles se trouve être une traduction fidèle de la réalité, il en ressortira certainement des rapprochements suggestifs.

» Je n'irai pas jusqu'à dire avec Condorcet que la Science n'est qu'une langue bien faite. Les notations ne doivent pas remplacer les faits : certains chimistes, entraînés par la commodité de leurs symboles, l'ont parfois un peu trop oublié. Il n'en est pas moins vrai qu'un bon système de notations peut à la fois faciliter l'exposé des faits connus et orienter les recherches futures.

» Il en est de ces équations de dimensions comme de certaines autres notions d'un ordre très général, presque formel, et qui, envisagées sous le point de vue mathématique, n'apparaissent que comme des moules vides, mais qui prennent une singulière fécondité physique quand la réalité vient remplir ce moule. Il me suffira de rappeler qu'un des théorèmes les plus importants de la physique moléculaire contemporaine, celui des états correspondants, se ramène à une simple question d'homogénéité. Mais la théorie mathématique ne donne qu'une possibilité, et c'est l'expérience seule qui fait connaître si elle est réalisée ou non. Dans le même ordre d'idées, on peut citer les considérations sur la symétrie des phénomènes physiques dont le regretté Pierre Curie a fait de si pénétrantes applications.

» Je suis donc d'accord avec M. Brylinski, quand il dit qu'un système d'unités peut être exact ou inexact, car les phénomènes physiques ont une existence réelle et non pas purement formelle.

» La question est de savoir si l'on a le droit de regarder arbitrairement les grandeurs k ou μ comme ayant des dimensions nulles dans les équations (1) ou (2).

» Ce problème n'est pas nouveau dans la science : il y a longtemps qu'il s'est posé devant les astronomes, puisque les lois (1) et (2) de Coulomb rappellent la loi de Newton :

$$(7) \quad f = \frac{1}{\gamma} \frac{M^2}{r^2}.$$

A-t-on le droit de faire $\gamma = 1$? Fourier, qui fut le véritable créateur de la théorie des dimensions, a montré, le premier, à quelles conséquences on est conduit ainsi : la densité est mesurée par le carré d'une vitesse angulaire, la force par la quatrième puissance d'une vitesse linéaire. Depuis, Lord Kelvin et M. Lippmann ont développé diverses conséquences de ce système.

» Un tel système élimine la masse M et ne laisse plus subsister que deux grandeurs fondamentales L et T , les catégories kantienues, l'espace et le temps. Mais, si cette suppression de la matière est un triomphe pour le métaphysicien qui croit qu'on peut expliquer les choses visibles par les choses invisibles, elle satisfait moins les physiciens, gens moins éthérés, qui pensent qu'il est aventureux de supprimer la matière et qui laissent au philosophe qui reçoit une tuile sur la tête le soin de chercher si c'est une émanation de l'espace ou du temps.

» En somme, les astronomes se sont refusés à égaler à l'unité le coefficient $\frac{1}{\gamma}$ et à éliminer dans leurs équations la matière entre l'espace et le temps, convaincus qu'on peut chasser la matière des formules, mais non de la réalité.

» Et cependant, s'il y avait un cas tentant entre tous, c'était bien celui-là. Voilà une constante qui présente, au moins si l'on s'en tient aux faits connus jusqu'ici, un caractère de fixité, d'invariabilité que n'offre aucune autre dans la nature. Elle est indépendante aussi bien de la valeur des masses que de la nature du milieu; pour la gravitation il n'y a ni milieu absorbant, ni surface réfléchissante, ni écran protecteur.

» Le remarquerai-je en passant? Cette constatation est de nature à nous montrer que pour adhérer à la conclusion de M. Brylinski, d'après laquelle le potentiel magnétique a les dimensions d'une intensité de courant,

$$(8) \quad [\Omega] = [I],$$

il ne suffit pas de noter que le rapport de ces deux grandeurs est indépendant de leurs valeurs absolues ainsi que de la nature du milieu; il faut admettre de plus qu'il ne représente pas une grandeur physique, mais un simple coefficient numérique.

» C'est bien là d'ailleurs ce que tend à indiquer, dans ce cas,

l'examen des faits, et, dans une seconde Communication, M. Brylinski a fait remarquer qu'on n'avait que l'embarras du choix pour établir cette équation de dimensions. Jointe aux précédentes, elle revient simplement à exprimer que le rapport des unités a les dimensions d'une vitesse.

» Il y a plusieurs manières d'arriver à cette conclusion : celle que je préfère parce qu'elle montre le mieux le sens physique de la chose, c'est celle qui consiste à écrire l'expression de la vitesse de propagation d'un ébranlement dans la théorie électromagnétique.

» Quoi qu'il en soit, les astronomes ont refusé d'admettre qu'on eût le droit de poser

$$(9) \quad [\gamma] = [L^0 M^0 T^0].$$

» Les physiciens, eux, ont été plus audacieux. Ils ont supprimé tour à tour le coefficient k (système électrostatique) et le coefficient μ (système électromagnétique).

» J'estime que ce sont les astronomes qui ont eu raison et les physiciens qui ont eu tort.

» Quand on donne un croc-en-jambe à la réalité, elle vous retombe parfois dessus. L'erreur des hypothèses initiales s'est révélée quand on a constaté que le système électrostatique et le système électromagnétique étaient incompatibles entre eux et que le rapport des unités était égal à la vitesse de la lumière.

» On a si peu le droit de regarder k et μ comme des coefficients numériques sans dimensions, que la théorie électromagnétique établit entre eux la relation

$$(10) \quad v = \frac{1}{\sqrt{k\mu}},$$

qui donne la vitesse de propagation des perturbations électromagnétiques à travers l'éther : on sait que cette relation a été vérifiée pour la vitesse de la lumière non seulement dans le vide, mais encore dans un grand nombre de gaz et de milieux pondérables.

» Il résulte de là que

$$(11) \quad [k^{\frac{1}{2}} \mu^{\frac{1}{2}}] = [L^{-1} T].$$

» On trouve donc là une nouvelle équation de dimensions entre k , μ et les grandeurs mécaniques L , T , M . Pour déterminer sans ambiguïté les grandeurs électriques en fonction de L , M , T , il faudrait une équation de plus. Cette équation, nous ne la connaissons pas : il est même possible qu'elle n'existe pas et que la représentation mécanique des phénomènes électriques soit d'un ordre tout à fait spécial et qui ne présente pas d'analogues, en ce sens qu'elle comporterait un degré de liberté, c'est-à-dire qu'il existerait non pas un seul mode de représentation unique, mais deux modes de représentation réciproques et se complétant l'un l'autre.

» Pour lever l'indétermination qui subsiste encore, à défaut d'une loi physique nouvelle, entre les grandeurs considérées, nous pouvons avoir recours à des considérations d'ordre formel. Si l'on admet qu'une représentation mécanique des phénomènes électriques est possible, cela impose comme condition que toutes les grandeurs doivent avoir des dimensions possédant un sens mécanique.

» Or, il suffit de jeter un coup d'œil sur le Tableau de dimensions des grandeurs mécaniques pour voir que L , M , T n'y entrent qu'avec des exposants entiers et jamais avec des exposants fractionnaires. Et il ne peut en être autrement, puisque c'est au moyen de ces trois grandeurs regardées comme les plus simples que nous construisons les autres en suivant une marche synthétique (¹).

» En dressant le Tableau des grandeurs électriques en fonction de L , M , T , k ou bien de L , M , T , μ , on y constate au contraire de nombreux exposants fractionnaires. Si l'on cherche à déterminer les dimensions de k et de μ de manière à satisfaire à l'équation (11) et à faire disparaître tous les exposants fractionnaires, le problème ainsi posé est bien défini. On constate qu'il n'admet qu'une solution, ou plutôt deux solutions réciproques l'une de l'autre.

» Ces deux solutions sont précisément celles qu'on aurait pu prévoir, *a priori*, en appliquant, comme l'a fait Fresnel, l'équation de Newton à la vitesse de propagation de la lumière :

$$(12) \quad v = \sqrt{\frac{e}{d}},$$

(¹) Il en serait autrement si l'on choisissait pour grandeurs primordiales des grandeurs complexes, telles que le volume ou l'énergie, d'où l'on déduirait les autres par une marche analytique.

e représentant le coefficient d'élasticité du milieu qui propage le mouvement ondulatoire, d sa densité, et en identifiant cette relation avec l'équation (10).

» La légitimité des vues de Fresnel a été parfois contestée. On a soutenu notamment que les raisonnements de Newton fondés sur l'hypothèse de vibrations longitudinales produisant des variations périodiques de densités et de pressions ne pouvaient s'appliquer aux vibrations transversales. Cependant, si la rigueur de la théorie de Fresnel laisse peut-être à désirer au point de vue mathématique, on ne peut s'empêcher d'être frappé de la sûreté des déductions qu'il en a tirées, et notamment de la manière géniale dont il a su, non seulement prévoir, mais encore calculer exactement l'entraînement partiel de l'éther par la matière pondérable.

» La sûreté de ses prévisions et les vérifications éclatantes que les expériences de Fizeau et de M. Michelson leur ont données ressortent d'autant plus quand on les rapproche des incertitudes des théories modernes, dont les unes, comme celle de Hertz, aboutissent à la conclusion qu'il n'y a aucun entraînement des ondes éthérées par la matière ; dont les autres, comme celles de Lorentz, n'arrivent à s'accorder avec les expériences qu'au moyen de l'hypothèse inattendue et imaginée spécialement pour expliquer cette contradiction, du raccourcissement des corps dans le sens du mouvement. En présence de ces difficultés, on ne saurait s'empêcher de penser, comme M. Michelson, qu'il vaudrait peut-être mieux faire machine en arrière et tâcher de se replacer dans l'ordre d'idées de Fresnel qui, en somme, paraît avoir vu plus juste que ses successeurs, puisqu'il est le seul qui ait réussi d'avance à prévoir exactement des phénomènes nouveaux.

» On peut identifier les équations (10) et (12) de deux manières, soit en posant

$$(13) \quad \frac{1}{k} = e, \quad \mu = d,$$

et l'on a alors les équations de dimensions

$$[k] = [M^{-1}LT^2] \quad \text{et} \quad [\mu] = [ML^{-3}],$$

soit en posant

$$(14) \quad \frac{1}{\mu} = e, \quad k = d.$$

» Dans le premier système la réciproque de la capacité inductive spécifique a les dimensions d'un coefficient d'élasticité et la perméabilité magnétique les dimensions d'une densité. Dans le second système, c'est l'inverse.

» On peut alors écrire les équations de dimensions de toutes les grandeurs électriques en fonction de L , M , T .

» Comme il existe un parfait parallélisme entre les grandeurs électriques et magnétiques, qu'à chacune des grandeurs électriques (masse, champ, potentiel, etc.) correspond une grandeur magnétique analogue, le système (13) et le système (14) se correspondent entièrement : le choix de l'un ou de l'autre revenant simplement à permuter les grandeurs électriques ou magnétiques.

» Ces systèmes sont parfaitement cohérents et donnent une image mécanique des phénomènes électriques à la fois intéressante et suggestive. Jetons, par exemple, un coup d'œil rapide sur le premier, le système (13) : $\frac{1}{k}$ apparaît comme le coefficient d'élasticité du milieu qui transmet les actions électriques ; c'est là une analogie qui a été à maintes reprises signalée et développée par Lord Kelvin, indépendamment de toute équation de dimensions.

» Elle s'accorde très bien avec les idées de Maxwell, qui envisage des courants instantanés dans les diélectriques en regardant ceux-ci comme possédant une résistance élastique. Quant aux courants permanents dans les corps conducteurs, ils font voir que ceux-ci possèdent une résistance visqueuse. C'est bien ce qui ressort de notre système de dimensions, dans lequel la résistivité ρ apparaît avec les dimensions d'un coefficient de viscosité

$$[\rho] = [ML^{-1}T^{-1}].$$

» Le potentiel électrostatique a les dimensions d'une tension superficielle, c'est-à-dire d'une énergie par unité de surface : de fait, la localisation de l'électricité statique à la surface d'un conducteur, l'égalité de potentiel en tous ses points, rappellent les phénomènes capillaires et les conditions d'équilibre des liquides soustraits à l'action de la pesanteur.

» Le champ électrique a les dimensions d'une pression : c'est-à-dire qu'il représente l'énergie répandue dans l'espace.

» La densité de courant représente une vitesse angulaire; le courant électrique est un mouvement tourbillonnaire de l'éther, la vitesse du tourbillon en chaque point représentant le champ.

» Le champ magnétique a les dimensions d'une vitesse linéaire.

» Il serait fastidieux de poursuivre cette interprétation dans tous ses détails. Je me bornerai à en signaler un, parce qu'il jette un jour intéressant sur une loi physique qui a donné lieu autrefois à de nombreuses controverses : il s'agit de l'action d'un élément de courant sur un pôle magnétique (formule de Biot et Savart, appelée aussi formule de Laplace).

» Cette loi a beaucoup embarrassé les théoriciens, parce que la force n'est pas dirigée suivant la droite qui joint les éléments. Par suite, la formule ne se concilie pas avec le principe de l'égalité de l'action et de la réaction. Pour répondre à cette objection, les uns ont admis que l'action de l'élément de courant sur le pôle devait être supposée appliquée non pas au pôle, mais à l'élément de courant lui-même; d'autres ont préféré renoncer, dans ce cas, au principe de l'égalité de l'action et de la réaction, et considérer les forces en jeu comme formant un couple ayant pour bras de levier la distance du pôle à l'élément.

» En réalité, la formule de Biot et Savart s'applique à deux grandeurs fictives et irréalisables physiquement : un pôle isolé et un élément de courant. Sa vraie signification nous apparaît, si nous la rapprochons d'un problème qui a longtemps occupé les mécaniciens, celui de la composition cinématique des accélérations. Abordé successivement par Newton et Clairaut, il n'a été définitivement résolu qu'en 1835 par Coriolis, qui a montré comment on pouvait composer une vitesse linéaire avec une vitesse angulaire. Or, l'expression qu'il a donnée, pour l'accélération centrifuge composée, a exactement la même forme que l'expression de Biot et Savart. Cette identité s'explique naturellement si l'on admet, d'après les équations de dimensions indiquées plus haut, qu'un champ puisse être assimilé à une vitesse linéaire, et une densité de courant à une vitesse de rotation : la force électromagnétique n'est autre que la force centrifuge composée due à la vitesse linéaire du champ et à la vitesse de rotation du courant.

» On peut donc dire que la solution du problème de la composition des accélérations était connue électriquement avant d'avoir été trouvée cinématiquement.

» Le système de dimensions précédent n'est pas le seul, puisque nous avons vu que, soit par la considération purement algébrique des exposants entiers, soit par l'hypothèse physique de l'identité des équations de Maxwell et de Newton, nous étions menés indifféremment au système (13) ou au système (14). Lequel des deux est vrai? Je pense, pour ma part, qu'ils le sont tous les deux, que l'indétermination qui subsiste ainsi dans les formules n'est pas une indétermination provisoire résultant de notre ignorance, mais qu'elle répond à la nature même des choses. Et, en ce sens, on peut dire que les phénomènes électriques ne sont pas entièrement comparables aux phénomènes purement mécaniques : car ils n'admettent pas une seule interprétation, ils en admettent deux qui sont inséparables. C'est là ce qui fait leur caractère propre. Ne retrouve-t-on pas d'ailleurs quelque chose d'aussi spécial pour d'autres phénomènes tels que les phénomènes calorifiques? La chaleur est bien une forme d'énergie, mais c'est une forme d'énergie à part, qui fait contraste à bien des égards avec l'énergie électrique ou mécanique. Nulle part ailleurs que dans la théorie de la chaleur on ne rencontre rien qui rappelle la notion d'entropie. La température n'est comparable à aucune autre grandeur physique : outre que c'est la seule, parmi les grandeurs de la nature d'une tension qui possède un zéro absolu, et non pas arbitraire, c'est une grandeur qui ne peut pas être mesurée, mais simplement repérée. Aussi, à la question de savoir quelles sont ses dimensions mécaniques, la réponse me paraît être : ce n'est pas une grandeur mécanique, et elle n'a pas de dimensions. Le cas des grandeurs électriques est inverse : ce sont des grandeurs qui ont deux dimensions.

» Ces restrictions sont nécessaires pour préciser, à mon avis, la réponse à faire à cette question de philosophie naturelle souvent posée, de savoir si les phénomènes de l'univers sont susceptibles d'une interprétation purement mécanique. En réalité, on ne peut assimiler entièrement aux phénomènes mécaniques ni les phénomènes calorifiques, ni les phénomènes électriques.

» Le système de dimensions (14) nous conduit à associer l'idée

d'un courant électrique à celle d'un déplacement linéaire, et le système (14) à celle d'un mouvement tourbillonnaire.

» Le premier point de vue est celui auquel on aboutit en considérant le déplacement des charges électriques dans le fil conducteur; il conduit à associer l'idée de champ magnétique à celle de rotation : on regarde comme élément primordial, non pas la ligne de force magnétique, mais les courants circulaires d'Ampère qui lui donnent naissance.

» Le second point de vue est celui auquel on est conduit si l'on porte son attention sur ce qui se passe dans le milieu ambiant. Le courant électrique, c'est alors le mouvement tourbillonnaire du milieu. L'énergie est localisée dans ce milieu. Le fil électrique n'est pas véritablement le véhicule de cette énergie : il est simplement le lieu où elle vient se dissiper. L'énergie y pénètre latéralement par les côtés et vient s'y dégrader sous forme d'énergie calorifique. Des trois vecteurs : champ électrique, champ magnétique, propagation de l'énergie, chacun est à angle droit des deux autres. Par contre, dans cet ordre d'idées, la notion d'aimantation sera liée à celle d'une grandeur linéaire, et non pas d'une rotation.

» Peut-on choisir entre ces deux manières de voir? Dire que l'une est conforme aux phénomènes et l'autre non? Je ne le pense pas, et je crois que cette indétermination est précisément ce qui fait le caractère spécial des grandeurs électriques et magnétiques.

» Il n'y a aucune raison de mettre en évidence dans les formules plutôt la quantité d'électricité que la quantité de magnétisme. Ce sont au fond deux grandeurs fictives que nous ne connaissons pas mieux l'une que l'autre.

» A ce point de vue, le système de M. Brylinski qui introduit la masse électrique comme grandeur fondamentale, en éliminant la masse magnétique, me paraît entraîner de sérieuses objections : il aboutit à faire disparaître, des formules, certaines analogies qui sont la traduction de phénomènes réels.

» La naissance d'un champ magnétique par un déplacement électrique ou la naissance d'un champ électrique par un déplacement magnétique sont des faits d'expérience qui n'ont aucune analogie dans la mécanique des corps matériels. Elles nous présentent l'exemple de forces centrales et en raison inverse du carré de la

distance qui ne naissent que par le fait du mouvement. Isolément, le champ électrique ou le champ magnétique se conçoivent très bien ; en revanche, la naissance de l'un par la variation de l'autre se constate, mais ne s'interprète pas mécaniquement. Dans un de ses derniers Mémoires, Lord Kelvin déclarait qu'après avoir réfléchi à ce problème durant toute sa vie, il n'était pas plus avancé sur ce point qu'au premier jour, et qu'il ne réussissait pas plus qu'alors à concevoir, pour l'éther, une structure mécanique telle qu'il transmet *à la fois* les actions électriques et les actions magnétiques.

» L'indétermination que j'ai indiquée plus haut ne se présente pas ici pour la première fois dans l'histoire de la Science. Fresnel l'a rencontrée à plusieurs reprises dans ses travaux d'Optique ; les expérimentateurs modernes s'y sont heurtés à bien des reprises.

» On connaît la discussion qui eut lieu entre les partisans de Fresnel et ceux de Mac-Cullagh, au sujet de la polarisation. Pour le premier, les vibrations de l'éther sont perpendiculaires au plan de polarisation ; pour le second, elles s'effectuent dans ce plan.

» Il y a quelques années, on crut que les expériences de M. Wiener allaient permettre de trancher ce long débat ; il n'en fut rien. On dut reconnaître simplement qu'elles rattachaient à ce problème celui de la répartition de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle des mouvements lumineux.

» Pareillement la question a été maintes fois débattue, de savoir si l'énergie magnétique est cinétique ou potentielle, et si les forces électromagnétiques doivent être assimilées à des forces d'inertie. Aucune expérience décisive n'a permis de trancher le problème.

» Peut-être même n'a-t-il pas un sens bien net, si l'on admet que l'énergie potentielle est l'énergie cinétique d'un milieu inconnu. C'est l'idée des mécanismes cachés de Leibniz, que Hertz a reprise et développée dans son *Essai de Mécanique*, publié après sa mort.

» Tout ce qu'il est possible de dire, c'est que tous ces problèmes sont connexes les uns des autres, et que si l'un d'eux était tranché tous les autres le seraient du même coup.

» Ainsi le système (13), qui consiste à assimiler l'élasticité de l'éther à l'inverse de la capacité inductive spécifique, conduit à se rallier à la théorie de Mac-Cullagh : la vibration de l'éther s'effectue dans le plan de polarisation, ce qui amène à admettre, comme l'a fait

Mac-Cullagh, que l'élasticité de l'éther est variable et sa densité constante, que l'énergie magnétique est cinétique, que les forces électromagnétiques sont des forces d'inertie, et que l'énergie pénètre latéralement dans un fil conducteur traversé par un courant.

» Au contraire, le système (14) entraîne la vérité de l'hypothèse de Fresnel sur le plan de polarisation.

» Ainsi, de quelque côté que l'on se soit tourné, l'indétermination est toujours restée la même, et les expériences optiques, pas plus que les expériences électriques ou magnétiques, n'ont permis de décider en faveur des équations (13) ou des équations (14).

» J'aborderai enfin un dernier ordre de considérations sensiblement différent des précédentes, mais qui se rattache cependant à la question de savoir si les phénomènes électriques admettent une interprétation mécanique.

» Au commencement de cette Communication, j'ai signalé un certain manque de cohérence entre le système d'unités électriques G.G.S. et le système dit *pratique*. J'ajouterai maintenant que, dans le système théorique lui-même, on remarque une certaine incohérence interne. Cette incohérence se traduit généralement par l'introduction, dans certaines formules concernant le magnétisme, de facteurs tels que 4π , là où rien n'entraîne l'idée d'une fonction circulaire ou d'un angle solide. L'origine en est facile à trouver : parmi les grandeurs magnétiques, les unes, comme la quantité de magnétisme, ont été introduites sous l'influence des théories de l'action à distance ; les autres, telles que le champ magnétique ou l'induction, sous l'influence de la théorie des lignes de force.

» Le premier point de vue fut celui des géomètres du début du XIX^e siècle ; le second, celui de Faraday et de l'école anglaise.

» Il n'y a pas contradiction entre ces deux points de vue ; il est même facile de démontrer qu'on ne peut représenter, comme l'a fait Faraday, l'intensité de la force en un point, au moyen de la densité du faisceau des lignes de force, que dans un seul cas : celui où le système de forces est produit par des attractions variant en raison inverse du carré de la distance.

» Si les conséquences générales de ces deux points de vue sont les mêmes, il n'en est pas moins vrai qu'ils conduisent à introduire dans les formules des coefficients numériques différents.

» La représentation des champs par des lignes de force amène logiquement à prendre, pour mesures de la quantité d'électricité ou de la quantité de magnétisme que l'on suppose concentrées en un point électrisé ou en un pôle, les flux qui en émanent; de même que l'on assimile la quantité de lumière qui émane d'une source avec le flux qu'elle rayonne. La loi de l'affaiblissement de l'éclairement est certainement celle qui permet de se rendre le mieux compte du sens physique qu'il convient d'attacher à la variation en raison inverse du carré des distances : le flux se répartit sur des surfaces sphériques qui croissent comme les carrés des rayons.

» La comparaison du flux lumineux au flux électrique ou au flux magnétique conduit à écrire les lois de Coulomb, non pas sous la forme des équations (1) ou (2), mais sous la forme

$$(1 \text{ bis}) \quad f_e = \frac{1}{k} \frac{q'^2}{4\pi r^2} \quad (\text{électricité}),$$

$$(2 \text{ bis}) \quad f_m = \frac{1}{\mu} \frac{m'^2}{4\pi r^2} \quad (\text{magnétisme}),$$

et à définir q' et m' par ces relations.

» Les unités de quantité dans ce nouveau système diffèrent par le facteur $\frac{1}{\sqrt{4\pi}}$ des unités de l'ancien système.

» Ces unités, proposées par M. Heaviside sous le nom d'*unités rationnelles*, sont certainement plus satisfaisantes que les anciennes. On constate, en passant des formules obtenues avec les unités habituelles aux formules obtenues avec les unités rationnelles, que certaines relations se simplifient par la suppression des facteurs tels que 4π , tandis que d'autres se compliquent par l'introduction de ce facteur qui n'y figurait pas; mais, là où il disparaît, on constate qu'il n'avait pas de sens physique, tandis que là où il apparaît il s'agit de phénomènes entraînant l'idée d'un flux radial ou circulaire, ou bien d'un angle plan ou solide.

» L'incohérence du système actuel d'unités G. G. S. tient principalement à ce que les grandeurs représentatives de phénomènes n'ont pas été établies en se plaçant toujours à un point de vue unique : soit celui de l'action à distance, soit celui des lignes de force.

» Tandis que l'électrostatique et une partie du magnétisme ont

été développés au premier point de vue par les théoriciens de l'école française et leurs émules de la première moitié du XIX^e siècle, le magnétisme et l'électromagnétisme, au contraire, ont reçu, dans la seconde moitié du XIX^e siècle, d'importantes contributions de la part des physiciens de l'école anglaise, placés au point de vue de Faraday.

» La quantité de magnétisme, le moment magnétique, l'intensité d'aimantation se rattachent à la première conception ; le champ ou l'induction magnétique, à la seconde.

» Il en résulte que des grandeurs qui représentent des phénomènes analogues dans l'électricité et dans le magnétisme se présentent dans un cas avec un coefficient égal à l'unité, dans l'autre avec un coefficient égal à $\frac{1}{4\pi}$.

» Il y a plus : dans le magnétisme même certaines grandeurs, introduites une première fois par les géomètres de l'école de Poisson, l'ont été une seconde fois sous un autre nom par les physiciens de l'école anglaise. Et ces grandeurs, qui représentent le même phénomène physique, se trouvent différer par le facteur 4π .

» C'est ce qui se présente lorsqu'on compare l'induction $\mathfrak{H}$ et l'intensité d'aimantation $\mathfrak{J}$ dans un aimant. On a, dans le système G. G. S.,

$$\mathfrak{H} = 4\pi \mathfrak{J},$$

tandis que ce facteur 4π disparaît, et l'équation se réduit à

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{J},$$

si, dans l'intensité d'aimantation, on introduit la définition de la masse magnétique donnée par l'équation (2 bis), au lieu de celle donnée par l'équation (2).

» C'est là, pour le dire en passant, une raison pour laquelle il ne paraîtrait pas avantageux d'introduire comme nouvelle grandeur fondamentale l'induction magnétique, ainsi que l'avait proposé Vaschy, et comme M. Brylinski dit qu'il avait été tenté un moment de le faire.

» Les quantités d'électricité et de magnétisme étant définies actuellement par les équations (1) et (2), inspirées par la théorie des actions à distance et non par les équations (1 bis) et (2 bis), inspirées par la théorie du flux de force, en introduisant une grandeur

fondamentale empruntée à cette dernière théorie, on ne ferait qu'augmenter encore la confusion actuelle, en la reportant aux sources mêmes du système.

» Si la théorie de l'action à distance et la théorie du flux de force sont mathématiquement équivalentes, si même, dans un cas spécial (celui de l'induction unipolaire), la première est plus commode que la seconde, il n'en est pas moins vrai que celle-ci est plus satisfaisante au point de vue physique, parce qu'elle nous rapproche bien davantage d'une interprétation mécanique des phénomènes. Plus on développera les explications de ce genre, plus on sera amené à donner la préférence aux unités rationnelles. M. Lorentz, qui, au début, faisait tous ses calculs avec les unités C. G. S., a été amené à employer uniquement les unités rationnelles, et a insisté à maintes reprises sur la simplification qu'elles introduisent dans les calculs compliqués de la théorie électromagnétique.

» Les physiciens qui ont assisté à l'Exposition de 1881 se souviennent encore de l'effet que produisirent alors les modèles hydrodynamiques par lesquels M. Bjerkness reproduisait les attractions et les répulsions électrostatiques ou magnétiques : impression si vive qu'on lui décerna un des grands diplômes d'honneur, les autres étant attribués à la lampe à incandescence et au téléphone. Ses vues ont été développées par lui-même, puis par son fils, professeur à l'Université de Stockholm. C'est le type d'une théorie purement mécanique de propagation des actions par le milieu. Or l'auteur arrive à des formules analogues à celles de Coulomb, mais où le terme r^2 est remplacé par $4\pi r^2$. Et voici sa conclusion sur le point qui nous occupe : « Les unités que nous employons pour l'électricité et le » magnétisme sont aussi irrationnelles que seraient en hydrodynamique les unités auxquelles on arriverait en supprimant de la loi » des attractions le facteur 4π . Dans ce système, l'unité de vitesse » différerait d'un facteur $\sqrt{4\pi}$ de la vitesse d'un point qui parcourrait l'unité de longueur dans l'unité de temps. Si les conséquences de cette irrationalité ne se font pas sentir dans toute » leur force, c'est à cause de l'ignorance où nous nous trouvons » relativement à la vraie nature des grandeurs électriques. Mais un » jour viendra où elles se feront sentir, et la réforme des unités » sera alors inévitable. »

» J'ai terminé ici mes observations; comme théoricien j'estime, ainsi que vous l'avez vu, que nos systèmes d'unités électriques, soit le système théorique, soit le système pratique, présentent de graves défauts, et que, si l'on devait les modifier, cette refonte gagnerait à être beaucoup plus profonde que celle que propose M. Brylinski. Mais, comme praticien, je crois que les esprits ne sont nullement mûrs pour une réforme de ce genre; à l'appui des systèmes actuels, il y a un argument très puissant : c'est celui que les philosophes appellent *l'argument du consentement universel*, ou, si vous aimez mieux, celui que je ne sais plus quel médecin exprimait sous cette forme humoristique : « Une mauvaise habitude dont on a l'habitude vaut mieux qu'une bonne habitude dont on n'a pas l'habitude. »

» Quelque ingénieux que soit le système de M. Brylinski, et bien que je sois d'accord avec lui sur la plupart des points, j'estime que, dans l'état actuel des choses, le mieux est de ne rien faire du tout. C'est une conclusion qui d'habitude rallie assez facilement les suffrages des commissions et des assemblées. »

M. P. JANET. — « A propos de la très intéressante Communication de M. D. Berthelot, je me bornerai à faire remarquer que le fond des quelques observations que j'ai présentées à la dernière séance était la distinction entre les dimensions des unités et les dimensions des grandeurs : les premières seules intéressent le praticien, et, dans ce sens, on peut dire, comme je l'ai fait, que tous les systèmes possibles d'unités sont admissibles, pourvu qu'ils soient cohérents. La théorie des secondes est, comme je l'ai dit également, une théorie qui touche plus à la philosophie ou à la métaphysique naturelle qu'à la science positive, et c'est à elle seule que se réfère la belle Communication de M. Berthelot; il n'y a donc, sur ce point, aucune contradiction entre nous.

» Quant à l'amusante comparaison du tournebroche, je crois qu'elle tournerait plutôt à mon avantage, puisque, entre les deux hypothèses, si nous adoptons l'une plutôt que l'autre, c'est non pas qu'elle est plus exacte (nous ne connaissons que les mouvements relatifs!), mais seulement plus commode. Qui n'a présentes à l'esprit, à ce sujet, les réflexions de M. H. Poincaré (*La Science et*

l'hypothèse, p. 141) : « Ces deux propositions : « La Terre tourne »
» et : « Il est plus commode de supposer que la Terre tourne » ont
» un seul et même sens; il n'y a rien de plus dans l'une que dans
» l'autre. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Berthelot pour les remarques pleines
d'intérêt qu'il vient de faire au sujet des unités.

ÉTAT ACTUEL DES LAMPES A INCANDESCENCE A FILAMENTS MÉTALLIQUES (¹).

M. A. BLONDEL. — « La Société s'est déjà occupée à plusieurs reprises des lampes à filaments métalliques et a été tenue, en particulier, au courant des premières découvertes des lampes à filaments d'osmium, de tantale, de tungstène, etc., par notre collègue M. Bainville, dont on connaît la compétence spéciale en matière de lampes à incandescence (²).

» Le but de la présente Communication est donc seulement d'exposer quelques considérations générales sur l'état actuel des procédés de fabrication et des résultats généraux de la nouvelle industrie, en plein état de floraison, à laquelle donnent lieu actuellement les nouveaux filaments.

HISTORIQUE ET CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

» Les métaux réfractaires qu'on admire maintenant, étaient cependant connus depuis longtemps (le tungstène et le molybdène ont été découverts et étudiés en 1783 et 1797 par Klaproth et par les frères d'Eljühar); des inventeurs comme Somzée, Lodyguine et Tibbitts ont essayé, dès 1889-1890, d'en recouvrir des filaments de carbone, ou d'obtenir des filaments imprégnés, par la combustion de mèches de coton ou de soie imbibées d'acide tungstique, ensuite réduit par l'hydrogène. Sander a fabriqué aussi des filaments de carbure de zirconium. Mais, à cette époque, on ne connaissait pas bien les propriétés chimiques de ces métaux à l'état pur, ni les inconvénients des carbures; on ne disposait pas de l'outillage perfectionné qu'on a aujourd'hui pour la production du vide et l'on n'était pas entraîné à la fabrication de filaments plus fins que des cheveux.

(¹) Communication présentée par M. Larnaude.

(²) Voir *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 1907, p. 115, et 1905, p. 363. Voir aussi les intéressantes remarques présentées au sujet de ces Communications par M. Paul JANET, Directeur du Laboratoire central d'Électricité, *Bulletin*, 1907, p. 122.

» La découverte a été d'ailleurs retardée surtout par des erreurs ou des préjugés. Ce sont les affirmations d'Edison, qui, en 1883, prétendait avoir essayé tous les corps réfractaires, qui ont empêché beaucoup de spécialistes d'entreprendre des recherches sur des corps autres que le carbone; puis ce sont les travaux de notre illustre compatriote M. Moissan, qui insistait sur la fusibilité de tous les métaux au four électrique et la trouvait d'autant plus grande qu'en réalité il n'a jamais pu opérer sur des métaux purs, mais seulement sur des composés plus ou moins carburés ⁽¹⁾; c'est enfin l'idée généralement répandue dans les Ouvrages scientifiques que les métaux les plus réfractaires sont ceux de la famille du platine.

» C'est ce dernier préjugé qui a amené le Dr Auer à concentrer ses recherches sur l'osmium au détriment des autres métaux. Il n'a pas eu ainsi l'avantage de découvrir le filament de tungstène tel que l'ont réalisé par des moyens différents V. Bolton, Kuzel, Just et Hanaman, les Sociétés Auer de Berlin (Blau) et de Vienne (Lux), Höllefreund, dont les noms sont maintenant liés à ceux des nouveaux filaments ⁽²⁾.

» Mais il faut bien reconnaître que le Dr Auer est indirectement le père de ceux-ci. Non seulement il a eu le mérite d'orienter les techniciens allemands dans une voie féconde, mais encore il a créé les méthodes nouvelles et l'outillage spécial dont tous se servent aujourd'hui plus ou moins avec des modifications de détail, sauf cependant le Dr Kuzel, dont le procédé est absolument original.

» Ce n'est cependant pas en Allemagne, mais en France, qu'aurait pu naître l'industrie des lampes à filaments de tungstène et de molybdène, si, dans notre pays, le contact entre la théorie et la

(1) En particulier, pour le tungstène et le molybdène, les poids atomiques (184 et 90 respectivement) sont si élevés, qu'il suffit d'une petite quantité de carbone pour provoquer la présence, dans le métal, d'une quantité considérable d'un carbure défini.

(2) On sait que les inventions se sont succédé à peu près avec les dates suivantes : Auer, filaments d'osmium, 1898; V. Bolton, filaments de tantale, 1903; Just et Hanaman, 1905; Kuzel et Lux, 1906; Höllefreund, 1906. Ce dernier avait imaginé d'abord la lampe au zircon et il a remplacé en dernier lieu ce métal par le tungstène, comme la Société Auer, de Berlin, a fait pour l'osmium.

Tous les filaments métalliques placés sur le marché sont actuellement formés de tungstène sensiblement pur, bien que l'on prétende souvent employer des alliages qui ne présenteraient aucun avantage et auraient seulement un point de fusion plus bas.

pratique, entre les savants et les hommes d'application, avait été aussi intime qu'il l'est outre-Rhin; en effet, deux savants chimistes français avaient, il y a déjà des années, étudié les principales propriétés du tungstène et du molybdène et plusieurs des réactions chimiques les plus pratiques pour produire ces métaux à l'état pur ⁽¹⁾. Mais les nombreux chimistes sortis de nos Instituts chimiques, sur lesquels on fondait de grandes espérances, n'ont pas eu l'idée que ces corps et les préparations qu'ils étudiaient fussent susceptibles d'application pour l'incandescence électrique, ni qu'ils pussent donner naissance à une importante industrie. Tandis que nos voisins se sont attachés à la couvrir par des brevets très nombreux, dont notre Office de la Propriété industrielle est inondé depuis quatre ans, nos jeunes chimistes ⁽²⁾, sans doute tenus insuffisamment au courant de ces recherches où ils auraient pu gagner aussi gloire et profit, se sont abstenus. Le résultat est que nous sommes maintenant tributaires, au moins momentanément, de la science allemande, des brevets allemands, et même des fabriques allemandes, pendant que celles-ci inondent le monde de nouvelles lampes à filaments métalliques.

» Il est à espérer que cet exemple d'un défaut de notre organisation scientifique et technique ne restera pas inaperçu et appellera l'attention des savants et des industriels sur l'intérêt qu'ils peuvent avoir à se connaître et à se tenir mutuellement au courant, les uns de leurs découvertes, et les autres de leurs desiderata.

(1) La réduction de l'acide tungstique par l'hydrogène a été démontrée par Riche en 1857, et celle de l'acide molybdique, par M. Guichard en 1901.

(2) Il est à remarquer aussi que ce sont des chercheurs jeunes qui n'avaient pas de préjugés scientifiques qui ont repris *ab ovo* la question et qui ont édifié comme sur une table rase toute une nouvelle technique qui fait aujourd'hui notre admiration. C'est aussi parce qu'il avait peu de bagage scientifique et qu'il ignorait complètement les études antérieures que M. Brømer a repris avec succès, en 1889, l'étude des charbons minéralisés abandonnée depuis 1882.

Il doit se dégager de ce fait pour tous les techniciens une importante leçon de choses : c'est qu'il ne faut jamais considérer comme définitivement acquise une vérité scientifique et *a fortiori* une vérité technique, et qu'il faut reprendre périodiquement la vérification des faits admis par les générations antérieures en faisant abstraction autant que possible des conceptions souvent trop absolues imposées peu à peu soit par le temps, soit par l'autorité de ceux qui les professent.

PROCÉDÉS DE FABRICATION DES FILAMENTS MÉTALLIQUES.

» Il est assez difficile de connaître d'une façon très exacte et complète les procédés de fabrication employés par les différentes Sociétés; beaucoup d'entre eux sont secrets ou ne sont connus que par des brevets, et ceux-ci contiennent, à côté d'indications exactes, une grande quantité de réactions irréalisables dont le seul but est de donner aux inventeurs l'espoir de droits plus étendus; il en est de même de beaucoup de publications faites dans les Revues techniques. Dans ce qui suit, j'ai cherché seulement à dégager quelques idées générales qui puissent servir de guide à ceux qui désirent se mettre au courant de cette fabrication.

» *Méthodes directes.* — Nous appellerons *méthodes directes* celles dans lesquelles on forme le filament directement au moyen du métal ou d'un composé du métal qu'on veut employer.

» Dans cette classe, on distinguera deux espèces de filaments : les filaments étirés à la filière et les filaments filés à la presse dans une filière au moyen de pâtes plastiques; ces derniers peuvent eux-mêmes se classer en trois groupes, suivant qu'ils sont formés de poudre métallique pure (ou qu'on peut rendre pure par simple chauffage), ou de poudre métallique contenant des impuretés qui exigent un traitement spécial pour les enlever, ou enfin de composés métalliques binaires qui exigent un traitement chimique pour être transformés en métal pur.

» 1° *Filaments étirés.* — L'idée la plus naturelle, c'est de chercher à obtenir le métal pur et à le tréfiler; cette méthode est brevetée par la Société Siemens et Halske, et appliquée notamment au tantale pur préparé par M. V. Bolton. Certains métaux, comme le tantale, ne sont ductiles que s'ils sont absolument purs; cette purification peut présenter de grandes difficultés; par exemple, pour le tantale, il faut le faire fondre dans le vide sous l'action d'un arc jaillissant lui-même d'une électrode au tantale; les composés oxygénés ou hydrogénés, etc., sont volatilisés. La même Société voulait appliquer le tréfilage à d'autres métaux, Mb, Th, Ei, Wo, Zi, Y; mais, en général, ils ont une structure cristalline et une dureté telle que, même à l'état

de pureté, ils ne sont pas ductiles. La Société d'Augsbourg prétend cependant qu'il est possible de tréfiler le molybdène ou le tungstène légèrement carburés (fontes) et de les décarburer ensuite par les procédés de décarburation indiqués plus loin pour les filaments filés.

» M. Singer prétend arriver au même résultat en ajoutant aux métaux purs une petite quantité, au moins 1 pour 100, d'aluminium dont la présence serait sans inconvénient ultérieur pour la durée du filament. En fait, jusqu'ici on n'a pu tréfiler industriellement que le tantale pur, et encore a-t-on beaucoup de peine à obtenir des fils de $\frac{5}{100}$, tandis qu'il faudrait, pour le tungstène, tréfiler à $\frac{2}{100}$ ou au plus $\frac{3}{100}$, et il n'y a pas de filières en diamant qui puissent y résister. Le procédé par étirage donne une fabrication très mécanique et la possibilité de mettre le filament en place sur un support unique avant de l'introduire dans l'ampoule, car on n'a pas à prévoir de modifications de longueur comme pour les filaments traités; mais l'inconvénient correspondant, c'est qu'on ne peut obtenir de réduction spontanée du diamètre, comme il s'en produit pour les autres procédés.

» 2° *Filaments filés en métal pur.* — V. Bolton a employé, notamment pour le tantale, des pâtes formées de poudre métallique très fine agglomérées par la paraffine ou par un autre liant entièrement volatilisable par la chaleur; après cette volatilisation faite avec précaution on agglomère le filament par soudure autogène en le portant à une vive incandescence par un courant électrique. Mais ce procédé ne devint pas industriel faute de solidité du filament après la volatilisation du liant. Au contraire, on obtient des pâtes excellentes et des filaments maniables par le filage des colloïdes métalliques desséchés avec précaution, suivant le procédé de Kuzel. Celui-ci prépare les colloïdes des métaux réfractaires énumérés plus haut par l'une des méthodes connues de Wright, Wedekind ou Bredig; cette dernière, qui est notablement plus simple, consiste à faire jaillir sous l'eau non conductrice un arc électrique entre électrodes rugueuses du métal choisi, puis à évaporer la pseudo-solution. Le colloïde gélatineux est ensuite pressé à travers une filière en diamant et donne des filaments non conducteurs, qu'il suffit de dessé-

cher avec précaution et de porter, dans l'hydrogène ou dans le vide, à une température de 100° environ pour leur donner une certaine conductibilité; en faisant passer alors un courant électrique, on amène le filament à l'incandescence et il prend une structure métallique et homogène, tout en se réduisant beaucoup de longueur et de diamètre, ce qui est avantageux, comme on l'a vu plus haut.

» On peut, dans ce procédé, ajouter à la pâte, avant filage, soit les poudres des métaux réfractaires, soit des oxydes ou sulfures des mêmes métaux à l'état colloïdal, en se réservant de les réduire par une opération chimique ultérieure. Les oxydes colloïdaux qu'on sait préparer (par exemple en dissolvant le bioxyde de tungstène dans le cyanure de potassium puis le précipitant par un électrolyte) ont une plasticité plutôt supérieure à celle des colloïdes métalliques et favorisent par conséquent le filage, en même temps qu'ils permettent d'obtenir une plus grande réduction de diamètre après traitement du filament. M. Kuzel a reconnu également qu'on peut augmenter beaucoup la résistance spécifique des filaments colloïdaux en ajoutant dans la pâte du silicium, du bore, de l'arsenic ou de l'antimoine, en poudre très fine, ou éventuellement des composés réductibles ultérieurement de ces métaux. On verra du reste plus loin une autre méthode du même inventeur pour introduire après coup le silicium et le bore dans un filament fini, étiré ou filé.

» Plus récemment, la General Electric Co a employé comme liant un amalgame plastique, qu'on peut volatiliser par la chaleur, avant de porter le filament à l'incandescence pour produire la soudure entre molécules.

» 3° *Filaments filés en métal impur.* — Ce procédé de fabrication est actuellement le plus répandu. Les impuretés ordinaires sont soit l'oxyde, soit le carbure du métal. Ce dernier provient du liant organique employé pour le filage (goudron, gomme, sucre, etc.) qu'on est, en général, obligé d'employer dans la pâte pour donner aux filaments la ductilité et la cohésion nécessaires. On est alors obligé de purifier, après calcination, le filament par réduction et décarburation,

» Cette méthode a été employée tout d'abord par M. Auer et ses collaborateurs pour la fabrication des filaments d'osmium, et la

Société Auer allemande l'a naturellement étendue aux filaments de tungstène, qu'elle fabrique actuellement sous le nom d'*Osram*. Le filament métallique aggloméré est tout d'abord chauffé dans le vide ou un gaz inerte tel que l'hydrogène et contient un mélange du métal éventuellement un peu oxydé et de carbone. Le carbone, qui ne s'allie pas à l'osmium, forme avec le tungstène un carbure; dans les deux cas, il faut enlever le carbone sans oxyder le métal ou même en réduisant les parties oxydées. *Cette décarburation*, jouant un rôle essentiel dans la technique de presque tous les filaments métalliques, mérite quelques mots à part.

» *Décarburation*. — La décarburation des filaments contenant du carbone libre ou combiné était faite autrefois en portant le filament à l'incandescence dans une atmosphère d'hydrogène additionnée de vapeur d'eau (Auer) en ayant soin d'employer de préférence de basses pressions (20 mm à 30 mm de mercure); mais on a constaté qu'avec les métaux nouveaux plus facilement oxydables que l'osmium, tels que le tungstène et le molybdène, la vapeur d'eau risque de couper les filaments par oxydation : en conséquence, on a dû abaisser la proportion de vapeur d'eau à une portion très faible (2 à 3 pour 100). Au delà de 1 pour 100 de vapeur d'eau, la métallisation du filament est empêchée, et il reste de l'oxyde bleu de tungstène qui se volatilise peu à peu; d'où destruction du filament. Pour réduire toute trace d'oxyde, on doit porter ensuite le filament à l'incandescence dans une atmosphère d'hydrogène pur. Pour éviter la vapeur d'eau, on nettoie même avec soin dans l'hydrogène toutes les pièces métalliques des appareils, qui peuvent avoir emmagasiné de l'oxygène, notamment les pièces de cuivre et de fer; on produit aussi un courant continu d'hydrogène pour entraîner plus facilement toute trace de vapeur (Société Auer allemande).

» On recommande également d'employer toujours le courant continu plutôt que le courant alternatif, lequel amène plus facilement des coupures de filament (Société Auer allemande).

» D'autres procédés de décarburation ont été proposés : la Société d'Augsbourg a constaté que le carbone peut s'en aller par simple distillation si l'on chauffe le filament à l'incandescence dans le vide pendant une durée de 12 à 24 heures. Höllefreund a constaté aussi

que le carbone peut être entraîné par un courant d'azote, ou mieux d'ammoniaque; il recommande de produire celui-ci en ajoutant à l'agglomérant du phosphore d'ammonium ou en chauffant, dans un récipient où l'on a mis le filament après avoir fait le vide, une certaine quantité de ce phosphore. L'opération est surveillée au moyen de l'ampèremètre, qui indique une intensité croissante jusqu'au moment où la résistance du métal est devenue constante; le récipient en verre dans lequel a lieu l'opération se noircit et le filament doit être monté dans une autre ampoule.

» Pour éviter la carburation du métal par le liant, on a essayé plusieurs artifices : tout d'abord, on a préconisé les agglomérants qu'on peut appeler *autodecarburants*, c'est-à-dire qui contiennent par eux-mêmes assez d'oxygène pour brûler leur carbone. Par exemple, Lux a proposé des solutions ammoniacales de caséine, la lévulose, etc.; mais on constate facilement combien est difficile le dosage de ce liant, car, suivant que l'oxygène ou le carbone prédomine, on oxydara ou on carburera le filament; cette méthode ne paraît pas avoir eu de succès. D'autre part, on a préconisé des agglomérants non carburés, notamment le soufre ou mieux le sulfure d'ammonium (Schulze), le phosphore ou le phosphore d'ammonium (Höllefreund). Mais il ne semble pas qu'il y ait grand avantage à cette substitution dont le résultat est de phosphorer ou de sulfurer le filament (très peu, il est vrai, avec les composés ammoniacaux), et d'exiger par suite un traitement désulfurant ou déphosphorant, bien que les auteurs prétendent qu'il suffit de porter le filament à l'incandescence dans le vide ou l'hydrogène pour électrolyser et volatiliser les sulfures ou phosphures. Il ne semble pas d'ailleurs que les corps proposés présentent comme agglomérants les mêmes qualités de solidité et de flexibilité que les composés organiques à base de carbone. C'est pourquoi la décarburation est encore pratiquée de préférence.

» 4° *Filaments filés en composés métalliques.* — Au lieu de chercher à employer des poudres métalliques, ce qui suppose une première opération dispendieuse pour la préparation du métal, il semble naturel de faire des filaments directement avec des composés binaires, et de faire subir l'opération de la réduction aux filaments

ainsi obtenus, ce qui permet en même temps de pousser au maximum la contraction avantageuse qu'ils subissent et d'obtenir ainsi des filaments d'un diamètre beaucoup plus fin que celui de la filière employée.

» Nombreux sont les composés qu'on a proposé d'employer ainsi; il convient de citer en particulier les sulfures et azotures ⁽¹⁾, dont les avantages sont fort douteux, car on ne peut facilement les agglomérer; et, si l'on emploie un agglomérant organique, on aboutit finalement à une carburation qui exige un traitement spécial; et si l'on essaie de détruire d'abord le carbone par oxydation on risque d'oxyder en même temps le filament. Il est donc plus naturel d'employer directement les oxydes soit à l'état acide colloïdal, soit à l'état de poudre anhydre agglomérée par un liant ⁽²⁾.

» Ce sont les acides colloïdaux qu'a employés par exemple M. Lux en traitant les trioxydes du tungstène ou du molybdène par un excès d'une solution d'ammoniaque, ou d'une amine alcoolique, jusqu'à formation d'une masse pâteuse plastique; il a cru d'abord qu'il se formait ainsi des dérivés amidés, mais il a reconnu plus tard qu'il se formait seulement des acides tungstiques ou molybdiques hydratés gélatineux qui peuvent aisément se filer de la même manière que les filaments de cellulose et font prise rapidement à l'air. En cuisant les filaments dans un four à l'abri de l'air, on les rend conducteurs, c'est-à-dire qu'ils contiennent alors seulement du métal ou un oxyde inférieur; on peut alors, à l'abri de l'air, les porter à l'incandescence par courant électrique, ce qui les amène promptement à l'état de métal pur. On peut aussi commencer par filer une pâte formée d'un oxyde et d'un agglomérant.

» On peut aussi commencer par filer une pâte formée d'un des précédents oxydes et d'un agglomérant qu'on décarbure. Par exemple, M. Lux et, d'autre part, la General Electric Co filent une pâte contenant de l'oxyde de tungstène (additionné ou non d'un peu de noir de fumée) et aggloméré par un liant organique; ce filament est rendu conducteur tout d'abord par un chauffage à l'air au-dessous du rouge (General Electric Co) ou au rouge (Lux), puis est porté à

(1) Ceux du tungstène et du molybdène sont seuls facilement réductibles.

(2) Il est à noter que seul l'oxyde de tantale ne peut être réduit que dans le vide.

l'incandescence dans le vide ou dans un gaz inerte par le passage d'un courant; dans ces opérations, le carbone du liant réduit l'oxyde métallique et s'élimine sous forme d'oxyde de carbone; s'il reste de l'oxyde non réduit, il est électrolysé et volatilisé à haute température. La contraction considérable que subit le filament pendant cette formation, et qui peut réduire sa longueur de moitié, semble exiger la formation du filament hors de l'ampoule.

» La Société A. E. G., de Berlin, emploie un procédé analogue, dans lequel les filaments d'oxydes sont calcinés, puis décarburés par chauffage à l'air libre, et ramenés ainsi à l'état d'oxydes purs avant d'être introduits dans un four électrique à tube d'iridium; là ils sont chauffés jusqu'à plus de 1800° dans une atmosphère d'hydrogène qui les réduit à l'état métallique; ils acquerraient, dit-on, une solidité suffisante pour être ensuite manipulés et montés dans les ampoules sans formation individuelle.

» Mais ce procédé, à première vue très séduisant, doit présenter des difficultés d'exécution, pour empêcher le collage des filaments entre eux et avec leurs supports pendant la formation, et pour prévenir la désagrégation du four métallique par l'hydrogène à haute température.

» Enfin, la Société française d'incandescence par le gaz, système Auer, a breveté récemment un procédé analogue, imaginé par M. Dobkévitch, et qui repose sur la formation individuelle d'un filament d'oxyde de tungstène, préalablement file avec un liant très plastique, puis décarburé par le chauffage au rouge dans une atmosphère d'acide carbonique; ce filament, porté ensuite dans un four spécial en porcelaine rempli d'hydrogène chauffé au rouge, y subit une réduction chimique, complétée en portant le filament à une incandescence vive par un courant. Pendant cette formation, dans l'atmosphère d'hydrogène, le filament est enroulé en spirale sur un support de forme spéciale qui le soutient en un nombre de points suffisants par des boucles en fils très fins; on fixe ensuite le support avec le fil dans l'ampoule. On a ainsi les avantages de réaliser des filaments très fins pour faibles intensités lumineuses, de n'employer pour une lampe de 110 volts qu'un seul filament de grande longueur (environ 0^m,50) et de supprimer toute manipulation délicate.

» On a essayé également le soufre comme agglomérant de filament en oxyde ou en sulfure; on chauffe le filament dans l'hydrogène jusqu'à disparition du soufre sous forme de sulfure d'hydrogène, et le filament est alors assez conducteur pour être porté à l'incandescence par un courant comme plus haut dans une atmosphère d'hydrogène.

» MÉTHODES INDIRECTES. — Les méthodes indirectes supposent toutes l'emploi d'un filament exécuté préalablement dans une autre matière et servant de support temporaire ou définitif pour la substance rayonnante.

» *Nourrissage simple.* — L'origine de la méthode remonte à Cruto, qui graphitait un fil de platine incandescent par décomposition d'hydrocarbure gazeux et volatilisait ensuite imparfaitement le platine.

» C'est la même méthode qu'on emploie sous le nom de *nourrissage* pour graphiter extérieurement les filaments de charbon noir qui donnaient de très mauvais résultats autrefois avant ce perfectionnement.

» De nombreux inventeurs ont été ainsi amenés à essayer des méthodes de fabrication de filaments métallisés, en déposant sur un filament de carbone des métaux ou des oxydes, précipités par une réaction qui se produit au contact du filament incandescent. Ce nourrissage peut s'appliquer facilement avec les hydrures métalliques volatils, ou les oxychlorures volatils en présence de l'hydrogène, etc. Les premiers essais dans cette voie sont déjà anciens et remontent, notamment pour le tungstène, jusqu'à Lodyguine (1890); ils n'ont pas réussi à cette époque parce qu'on ne savait pas éliminer ensuite le carbone et que le filament obtenu consistait au fond en un simple carbure métallique plus fusible et plus volatil que le carbone lui-même. On a essayé de même de déposer des oxydes ou des metalloïdes de toute espèce, et notamment des oxydes des terres rares, par imitation du manchon d'Auer. Ce dernier avait essayé lui-même de déposer de la thorine sur un filament d'osmium, essai qui a été repris sous une autre forme par M. Canello.

» Les résultats dans cette voie ont été infructueux, à cause de la

facile électrovaporisation cathodique de ces oxydes. On aurait pu obtenir de meilleurs résultats avec les oxydes très fixes comme ceux de l'yttrium, de l'erbium, etc.; l'*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft* a fait des essais dans ce sens, sans résultat pratique connu.

» Auer a essayé d'abord pour l'osmium le procédé Cruto en déposant ce métal sur un fil de platine porté à l'incandescence dans une atmosphère d'oxyde d'osmium volatil mélangé d'un gaz réducteur tel que l'hydrogène, l'aldéhyde, etc. La même méthode a été employée plus tard par Canello pour revêtir un filament de thorine, d'osmium ou de ruthénium. Ces procédés n'ont pas donné de bons résultats par suite de l'impossibilité d'éliminer le filament support, dont les propriétés sont moins favorables que celles du métal déposé. Le nourrissage au tungstène est cependant employé accessoirement par divers fabricants pour renforcer ou égaliser les filaments du même métal; c'est un artifice auquel on ne devrait pas avoir besoin de recourir dans ce dernier but, car le filament bien filé doit être parfaitement uniforme.

» Encore récemment aux États-Unis, MM. Parker et Clark prétendaient avoir obtenu, par simple nourrissage d'un filament de carbone par du silicium obtenu par décomposition de l'hydrogène silicié, un filament dit *héliou*, qui présenterait des propriétés remarquables : une consommation de 1 watt par bougie avec une durée de 500 heures, une résistivité suffisante pour employer un seul filament court sur 110 volts, coefficient de température positif. Ce résultat doit laisser sceptique tant qu'il n'aura pas été contrôlé par des tiers, car le silicium se combine au carbone incandescent. Or, Langhaus, dès 1896, et Sir J. Swan, vers la même époque, avaient essayé le filament à carbure de silicium; ce carbure a la réputation d'être relativement fusible et volatil. Même s'il s'agit d'un revêtement de silicium, on sait, d'après Moissan, que ce corps distille à 2000°. La performance de l'héliou paraît donc n'être qu'un *bluff* américain.

» *Nourrissage suivi de décarburation.* — Le procédé de nourrissage est devenu pratique le jour où Just et Hanaman ont eu l'idée de le faire suivre d'une décarburation suivant la méthode d'Auer.

» Ils prennent comme support un filament de carbone qu'ils

portent à l'incandescence dans une atmosphère formée d'un gaz réducteur, tel que l'hydrogène, mélangé de composés réductibles, tels que le chlorure ou l'oxychlorure du tungstène ou du molybdène, seuls métaux auxquels ce procédé s'applique bien. On limite le dépôt à une couche mince; puis on porte le filament dans l'hydrogène ou un gaz inerte à une haute température, ce qui a pour effet de combiner le carbone avec le métal; ensuite on ajoute au gaz une petite quantité de vapeur d'eau ou d'un gaz oxydant analogue, qui détruit le carbone des couches superficielles; ce carbone est remplacé peu à peu par celui des couches profondes, et l'attaque continue jusqu'à oxydation complète et disparition du carbone. On opère de préférence sous faible pression pour éviter une trop forte dépense d'énergie par conduction du gaz, et la déformation des filaments que provoque, paraît-il, une trop forte pression.

» *Nourrissage par substitution.* — Le procédé précédent rend assez difficile la décarburation complète et se prête d'ailleurs mal à la fabrication des filaments très fins, qui exigerait un filament initial de carbone trop fragile; aussi les inventeurs l'ont-ils perfectionné en réunissant les deux opérations du nourrissage et de la décarburation en une seule; ce qu'ils obtiennent en ajoutant au gaz de nourrissage une petite quantité de vapeur d'eau; dans ces conditions, l'oxydation du filament de carbone se fait au fur et à mesure du dépôt métallique, et l'âme de carbone a disparu avant la terminaison du nourrissage; ce dernier ne sert plus alors qu'à amener le filament à son diamètre définitif.

» Un procédé de substitution tout à fait analogue avait été employé dès 1901 par M. F. Blau, de la Société Auer allemande, pour la fabrication de filaments d'osmium par mise à l'incandescence d'un filament de carbone dans une atmosphère d'hydrogène contenant, avec une certaine quantité de vapeur d'eau, de l'acide osmique volatilisé; ce dernier se réduit et se dépose en même temps que le support de carbone s'oxyde et disparaît.

» Ces procédés ingénieux présentent l'avantage qu'ils dispensent de la préparation délicate du fragile filament filé en poudre métallique ou en oxyde; mais ils ont par contre l'inconvénient d'exiger un tour de main assez délicat et surtout ils se prêtent moins bien à

d'obtention des filaments très fins que les procédés directs à l'oxyde ou au sulfure.

» *Cémentation.* — La méthode de nourrissage donne lieu enfin à une application curieuse et intéressante, qu'on ne peut mieux comparer qu'à la cémentation de l'acier et qui consiste à incorporer après coup de petites quantités de substances étrangères dans des filaments métalliques terminés, quelle que soit la méthode qu'on ait employée pour les obtenir.

» Kuzel a démontré qu'on peut augmenter ainsi dans des proportions énormes la résistance du filament métallique (jusqu'à 10 fois) en le nourrissant de carbone, bore ou silicium. Il opère en chauffant le filament dans des vapeurs sous faible pression (ou diluées dans un gaz inerte) d'un composé volatil hydrogéné du carbone, du bore ou du silicium; mais le nourrissage doit être fait avec assez de précaution et assez rapidement (15 à 30 minutes), pour qu'il n'y ait non pas dépôt des métalloïdes considérés à la surface du filament, mais combinaison superficielle; c'est pourquoi j'emploie le terme de *cémentation*.

» On obtient ainsi des combinaisons eutectiques, qui, tout en augmentant la résistance, et même en modifiant la teinte de la lumière (qui devient plus jaune par cémentation de carbone et plus verte par cémentation de bore), ne modifient pas d'une manière notable ou excessive le point de fusion, comme le feraient des combinaisons proprement dites. La cémentation peut, du reste, être obtenue aussi par de la poudre de charbon ou par des carbures liquides (Siemens et Halske). Elle entraîne comme conséquence un certain foisonnement du filament, et notamment son allongement, ce qui exige des précautions si l'on doit traiter le filament déjà mis en place.

» *Remarque.* — Les diverses méthodes exposées ci-dessus ont été appliquées au thorium et aussi au zirconium, soit par décomposition des azotures ou hydrides (Zerning), soit par nourrissage (Höllefreund). Mais, les résultats ne valant pas ceux du tungstène, tous ces inventeurs se sont rejetés sur ce dernier métal; Siemens et Halske eux-mêmes brevétèrent des filaments de tungstène. Bientôt il

n'existerait donc plus, à côté des lampes au carbone, au point de vue commercial, que les lampes au tungstène, si le tantale étiré n'offrait une plus grande solidité initiale avantageuse pour les transports. Une solution ingénieuse qui permet de combiner dans une certaine mesure les avantages des deux métaux est celle du fil tréfilé bimétallique, en tungstène sur noyau de tantale, que fabriquent Siemens et Halske; la consommation spécifique d'énergie est intermédiaire entre celle de filaments purs des deux métaux séparés.

» *Difficultés qui accompagnent la fabrication et l'emploi des lampes métalliques.* — Les difficultés principales de fabrication et d'emploi que présentent les lampes à filaments métalliques sont les suivantes :

» 1° La formation individuelle des filaments dans des récipients à hydrogène, froids ou chauffés, est une sujétion coûteuse, car elle exige un outillage plus compliqué et plus de précautions que le nourrissage des lampes au carbone.

» 2° L'extrême finesse des filaments (*voir* le Tableau de la page 95) rend les manipulations et le montage très difficiles; les nombreux bris en cours de fabrication ou de transport sont le principal obstacle à l'abaissement du prix de revient (qui ne provient plus de la rareté de la matière première depuis qu'on a abandonné l'osmium).

» 3° Le trop grand nombre de filaments (4 à 6 sur 110 volts, 8 sur 220 volts), dans les lampes à filaments multiples, rend difficile de les loger dans les ampoules sans qu'ils se touchent et de les assortir exactement entre eux. Le filament unique de certaines lampes (Tantale, Société Auer française, etc.) constitue un grand avantage à cet égard.

» 4° La fragilité du filament en service fait craindre les transports et managements; le filament de tungstène n'est pas dense et régulier comme un filament tréfilé, mais poreux et formé d'une juxtaposition de particules métalliques soudées, auxquelles la soudure autogène n'a pu donner une cohésion égale à celle d'un fil tréfilé. Mais, en retour, il évite mieux la granulation par effet capillaire, qui rend au bout de quelque temps le fil de tantale aussi cas-

sant. La fragilité va en augmentant, du reste, avec l'âge de la lampe, et rend la durée très irrégulière, malgré la chance qu'on a d'un resoudage autogène.

» 5° Le ramollissement du filament à chaud rend difficile l'emploi de la lampe dans n'importe quelle position; pour que les filaments ne viennent pas se toucher entre eux ou toucher le support ou l'ampoule, il faut les ancrer par des attaches qui laissent un certain jeu pour la dilatation et le raccourcissement et qui ne risquent pas de coller au filament (par exemple, on emploie des fils fondus de thorine et de zircone ou mieux des fils fins de tungstène).

» 6° Une autre difficulté, aujourd'hui écartée, était l'exécution des attaches par une pâte charbonneuse ou métallique; la meilleure était la pâte de colloïde (Kuzel); aujourd'hui on soude directement le filament à l'attache en faisant jaillir entre eux un petit arc; on évite ainsi la carburation et les gaz occlus.

PROPRIÉTÉS DES FILAMENTS MÉTALLIQUES.

» Le Tableau ci-dessous résume comparativement les propriétés des différents corps utilisés jusqu'à présent pour l'incandescence électrique :

Corps incandescents. 1	Température d'emploi (degrés C.). 2	Point de fusion en degrés. 3	Poids spé- cifique. 4	Chaleur spé- cifique. 5	Poids ato- mique. 6	Coefficient de dilatation. 7	Résistance de 1 m fil 1 mm ²		Coefficient de température pour 100 par degré. 10
							à froid. 8	à chaud. 9	
Carbone	1650-1700	(3600)	2,25	(0,37)	12	0,000003	0,630	0,35-0,40	»
Graphite	1750-1850	»	1,96	»	»	»	»	»	»
Osmium	1900-2000	2500	22,5	0,31	75	»	0,095	0,80	0,37
Tantale	1850-2000	2275	16,8	0,0365	»	0,000008	0,165	0,83	0,25
Zirconium	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Tungstène	2000-2200	3100	18,0	»	184	0,000004	0,07	0,76	0,11
Molybdène	»	»	9,0	0,072	96	»	»	»	»
Oxydes Nernst	1900-2050	»	»	»	»	»	»	»	0,14

» Ces chiffres sont *des moyennes* des résultats publiés par divers expérimentateurs (1). Je serai reconnaissant aux confrères qui

(1) En particulier, pour les températures, des travaux de H.-F. Weber, Violle, Moissan, P. Janet, von Bolton et von Pirani, Waidner et Burgess, etc.

m'aideront à les compléter ou rectifier. Ils appellent quelques remarques.

» *Dilatation.* — On notera le coefficient de dilatation assez élevé des différents métaux; il oblige à laisser les ancrages assez lâches.

» *Résistivités.* — On constatera combien les résistivités des métaux sont faibles par rapport à celles du carbone; d'où résulte la nécessité de donner aux filaments une grande longueur (400 mm à 1000 mm) et un faible diamètre ($\frac{2}{100}$ ou $\frac{3}{100}$ de millimètre); le Tableau ci-dessous permet de comparer, à ce point de vue, les filaments de carbone avec ceux de tungstène, type Osram (Remané).

Type en bougies volts.	Diamètre en millimètres.	Longueur en mètres.	Watts par hefner horizontal.
CARBONE.			
50/220.....	0,1300	0,400	3,00
32/220.....	0,1200	0,380	3,50
25/220.....	0,0850	0,350	3,50
16/220.....	0,0700	0,275	3,50
10/220.....	0,0600	0,365	4,00
50/110.....	0,2300	0,240	3,00
32/110.....	0,1800	0,230	3,10
25/110.....	0,1600	0,220	3,10
16/110.....	0,1200	0,200	3,10
10/110.....	0,0750	0,175	3,50
TUNGSTÈNE.			
50/220.....	0,0342	1,040	1,25
32/220.....	0,0254	0,910	1,25
25/220.....	0,0216	0,826	1,40
16/220.....	0,0154	0,723	1,60
50/110.....	0,0530	0,605	1,10
32/110.....	0,0395	0,524	1,10
25/110.....	0,0328	0,490	1,10
16/110.....	0,0244	0,410	1,10

» *Coefficients de température.* — Les filaments métalliques ont un coefficient positif (d'autant plus élevé qu'ils sont purs), voisin de 0,004 à chaud, grâce auquel la résistance au régime normal atteint

les chiffres de la colonne 9; la figure 1, qui reproduit les courbes de résistance de divers filaments équivalents au point de vue de l'éclairage (32 H_a à 110 volts) montre plus clairement la différence entre ces filaments.

» Le courant qui passe pendant le très court instant de l'allu-

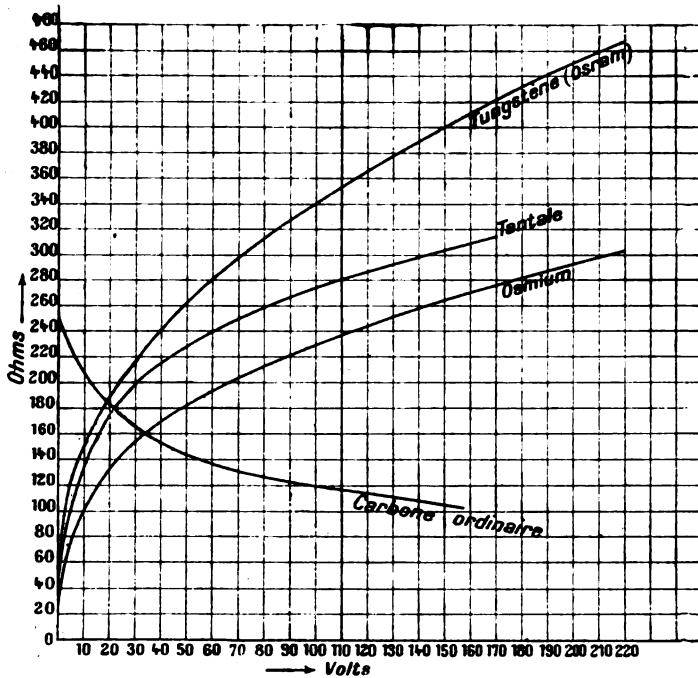


Fig. 1.

mage dans la lampe métallique froide dépasse de beaucoup le courant normal, ainsi que le montrent les chiffres suivants (Morris) :

Filaments.	Rapport du courant initial au courant de régime.	
	Théorique.	Expérimental.
Tantale.....	5,7 — 6,3	4,6 — 4,9
Tungstène.....	12,6 — 12,8	7,3
Osmium.....	8	»
Carbone.....	»	0,7 — 0,54

Les à-coups sont réduits par l'inductance des circuits et ne durent qu'un instant très court; cependant il y a lieu de s'en préoccuper en cas d'allumage simultané de toute une installation par un interrupteur général.

» *Variation d'éclat en fonction de la tension.* — L'émission de lumière varie pour tous les métaux au-dessus de 1500° sensiblement suivant la douzième puissance absolue de la température (Lummer et Pringsheim), et suivant une loi plus complexe de la tension aux bornes; mais l'expérience a démontré que, si l'on porte en ordonnées les logarithmes des intensités lumineuses I et en abscisses les tensions U correspondantes, la loi qui les relie est représentée entre d'assez grandes limites par une ligne droite, d'où la loi $I = CU^n$. Les valeurs de l'exposant n , déterminées par différents expérimentateurs, sont résumées dans le Tableau ci-dessous :

Filaments.	Hirschauer.	Morris.	Sharp.	Laboratoire central.	Bohle.
Carbone ordinaire, 16 bougies.	6,3	»	6,5	6,0	7
Graphite Howell, 16 bougies..	»	»	5,5	»	»
Oxydes Nernst.....	10,0	»	»	»	9,35
Tantale, 25 bougies.....	4,3	4,37-4,70	4,4	3,9	4,4
Osmium, 25 bougies.....	4,2	»	»	»	»
Tungstène (Osram), 25 bougies.	4,0	3,36-3,65	4,0	3,8	4,0
» (Just), 25 bougies..	4,0	3,56-3,94	»	»	»

» Ces constantes n donnent la mesure de la variation relative d'intensité lumineuse, en pour 100, pour chaque 1 pour 100 de variation de tension autour de 110 volts; il en résulte que les filaments métalliques sont notablement moins sensibles que les autres aux variations de tension d'un réseau. Cette propriété est très intéressante pour l'avenir de l'éclairage électrique, et peut permettre en particulier de réduire la section des feeders et distributeurs, proportionnellement à n ; elle est intéressante aussi pour l'emploi sur courants alternatifs.

» *Fonctionnement sur courants alternatifs.* — Par suite même du très faible diamètre des filaments métalliques, ils s'échauffent et se refroidissent très vite; en étudiant les fluctuations périodiques de lumière (par la méthode employée antérieurement pour les filaments de carbone par Léonard), divers expérimentateurs (Girard et Magnol, Sharp, Morris) ont obtenu des chiffres dont le Tableau ci-après résume les valeurs moyennes (variables d'ailleurs avec le degré de *poussage* des lampes) :

Filaments.	Puissance spécifique lumineuse en watts par bougie-déc.	Consommation spécifique en watts par bougie-déc.	Variation relative pour 100.	
			25 ~.	50 ~.
Carbone ordinaire.....	5	3,5	53	32
	16	3,5	25	12
	32	3,5	15	9
Graphite métallisé.....	8	2,5	37	17,5
	16	2,5	31	16
Osmium.....	16	»	17	12
Nernst.....	»	»	12	0
Tantale.....	25	»	37	19
Tungstène.....	32	1,2	37	17

» Le tantale supporte mal ces variations et l'on n'a pu arriver à des durées acceptables pour ce métal sur courant alternatif qu'au prix d'une augmentation notable de la consommation spécifique.

» Le tungstène, qui travaille plus loin de son point de volatilisation, paraît jusqu'ici échapper à cette sujétion et donner même rendement avec les deux espèces de courant; mais c'est encore douteux.

» Des courbes de variation en fonction de la fréquence, tracées par M. Sharp, font ressortir que la proportion augmente jusque vers 30 périodes et ensuite très lentement; j'en ai conclu (1) que la fréquence 25 est mal choisie pour l'alimentation des réseaux à courant alternatif et qu'il aurait bien mieux valu adopter la fréquence 33, qui est encore dans un rapport simple avec la fréquence 50 et qui permet l'emploi presque satisfaisant des arcs à flamme; il est du reste reconnu que, pour les moteurs, la fréquence moitié, 16,5, serait préférable à la fréquence 25.

» *Coloration.* — Au point de vue de la coloration, les filaments métalliques, et surtout le tungstène, sont notablement moins riches en radiations rouges et plus riches en radiations très réfrangibles que le filament de carbone; voici par exemple les résultats obtenus par Sharp, en pour 100 du carbone pris comme terme de comparaison :

(1) Cf. *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 1906.

	Carbone pour 100.	Tantale pour 100.	Tungstène pour 100.
Lumière totale.....	100	100,0	100,0
» rouge.....	100	90,5	83,0
» verte.....	100	100,3	101,8
» bleue.....	100	109,2	126,5

» Les physiologistes ont constaté que l'augmentation de rayons violets ou très réfrangibles dans les sources artificielles (bien qu'en réalité ces radiations soient moins considérables que dans la lumière solaire) produit une irritation de l'œil; il est du reste facile de s'en assurer quand on a une conjonctivite; la lumière artificielle l'irrite plus que la lumière du jour et d'autant plus qu'elle contient plus de rayons réfrangibles.

» On a donc proposé d'employer, pour supprimer ces radiations, des verres absorbants (dits *euphos*); leur emploi est tout indiqué surtout pour les nouveaux arcs au titane ou au mercure, mais ne paraît pas nécessaire pour les lampes à filaments métalliques dont l'ampoule de verre absorbe déjà les rayons ultra-violets.

» MM. A. Broca et Laporte (¹), qui ont élucidé complètement la photométrie des lampes électriques hétérochromes, ont montré que c'est surtout la vision directe du filament nu qui est nuisible; elle peut être évitée par des réflecteurs ou des diffuseurs.

» *Distribution de la lumière.* — La distribution de la lumière d'une lampe à incandescence est d'autant plus uniforme dans toutes les directions que ses filaments sont plus contournés; la lampe au carbone à boucles multiples était plus avantageuse à ce point de vue que la lampe Edison primitive; on a fait des lampes au carbone spéciales pour éclairer vers le bas. Au contraire, les lampes à filaments verticaux (tantale et tungstène) envoient forcément la plus grande partie de leur lumière dans le plan équatorial et donnent une intensité très faible dans la verticale (qui serait même presque nulle sans la réflexion par le verre), et suivant à peu près la loi de Lambert $I_{\alpha} = I_h \cos \alpha$ (α , angle avec le plan horizontal) (²); cette distribution est défavorable pour la plupart des applications, si on

(¹) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, 3 juin 1908.

(²) Un corps poli donne une diminution d'émission plus rapide que la loi du cosinus; mais les filaments métalliques, même le tantale, sont rugueux après usage et se comportent à peu près comme des corps noirs.

ne l'améliore pas par l'emploi de réflecteurs ou de globes ou par le dépolissage de l'ampoule.

» Mais le dépolissage complet perd beaucoup de lumière; aussi la solution la plus en faveur aux États-Unis est-elle la combinaison du dépolissage de la calotte inférieure de l'ampoule avec l'emploi d'un réflecteur holophane à surface intérieure lisse et à surface extérieure formée de prismes à réflexion totale (Blondel et Psaroudaki).

» D'autre part, certains constructeurs (Dobkévitch) donnent aux filaments la forme d'une spirale à axe vertical, qui uniformise la répartition, sauf dans un très petit angle mort (qui pourrait être évité par une spirale sur ellipsoïde).

RÉSULTATS PRATIQUES ET COMMERCIAUX DES DIFFÉRENTES LAMPES.

» Les lampes courantes au tantale sont actuellement de 16, 25 et 50 bougies (la lampe de 16 bougies est nouvelle). On trouve sur le marché des lampes au tungstène de différentes fabriques, avec des puissances de 20, 25, 32, 40, 50 (prix 3,75 fr), et de 32, 40 et 50 Hefners sur 220 volts (prix 6,25 fr), enfin de 100 et même 500 Hefners pour 110 volts. Les prix s'abaisseront bientôt par la concurrence, qui croît rapidement, et le succès des nouvelles lampes s'en trouvera accéléré.

» Les lampes métalliques se comportent d'une manière toute différente des lampes au carbone; leur baisse de lumière est beaucoup moins rapide et ne dépasse pas 6 à 10 pour 100 pour 1000 heures pour les lampes au tungstène. Elle est, en général, supérieure à la vie de la lampe, qui périt par rupture, mais elle peut se prolonger par resoudage spontané du filament brisé. La durée moyenne est, pour le tantale 16 bougies, 800 heures, et pour 50 bougies, 1500 à 1600 heures, avec une consommation moyenne de 2,2 watts par B_h .

» Pour le tungstène, la consommation spécifique est encore plus favorable; suivant les fabricants et les puissances unitaires, elle varie, d'après Wedding, entre 1,50 et 2,31 par H_h , mais peut être estimée en moyenne pour de bonnes lampes à 1,25 watt par Hefner pour une durée moyenne de 1000 heures et une chute d'intensité inférieure à 10 pour 100 (1).

(1) Il convient de noter que l'intensité lumineuse croît pour toutes les lampes pen-

» Tous ces chiffres se rapportent aux intensités horizontales moyennes; il faut tenir compte, en outre, du coefficient de réduction de l'intensité moyenne sphérique I_{ms} par rapport à l'intensité horizontale I_h ; ce coefficient, qui serait théoriquement égal à 0,785 pour un filament rectiligne unique, varie en pratique, suivant le type de lampe, entre 0,60 et 0,90 ⁽¹⁾.

» Le Tableau ci-dessous donne des valeurs moyennes pratiques, déduites de l'examen des résultats de plusieurs auteurs ⁽²⁾, des consommations, puissances, rendements et durées :

Types de lampes.	Voltage.	Puis- sance en watts.	Intensité lumineuse initiale.		Consommation spécifique moyenne de la vie ⁽³⁾ .		Coef- ficient de réduction sphé- rique (moyen).	Durée moyenne en heures.	Réduction moyenne	
			horizon- tale (<i>B_h</i>).	moyenne sphé- rique (<i>B_m</i>).	Watts par <i>B_h</i> .	Watts par <i>B_m</i> .			de lumière (p. 100).	Prix (moyen) en francs.
Charbon ordinaire à 3,5 watts....	120	56	16	12,6	3,8	4,8	0,79	600	20	0,40
Charbon ordinaire à 3,1 watts....	110	50	16	12,6	3,4	4,3	0,79	400	20	0,40
Carbone graphité à 2,5 watts....	110	40	16	12,6	2,7	3,4	0,79	400	20	0,50
Nernst à 1,8 watt..	220	56	31	19	2,0	3,3	0,61	300	20	»
Osmium à 1,5 watt..	37	45	25	18,5	1,8	2,4	0,74	800	15	0,60
Tantale à 2 watts..	110	44	22	16,7	2,2	2,9	0,76	800	10	3,0
Tungstène à 1,5 w.	110	28	22	16,3	1,4	1,9	0,74	800	10	3,75

dant une certaine période de début : elle croit de 10 pour 100 environ après 200 heures pour l'osmium, et pendant 25 à 100 heures pour les autres filaments métalliques; après quoi elle décroît lentement.

⁽¹⁾ D'intéressantes observations ont été faites de l'influence du vieillissement des lampes sur le coefficient de transformation. Sharp a constaté qu'à la fin de la vie ce coefficient atteint 86-94 pour 100 dans les lampes tantales vieilles, et 86-90 dans les lampes au tungstène, par suite de la concentration du dépôt opaque dans la zone moyenne de l'ampoule; d'où résulte un affaiblissement plus grand pour l'intensité horizontale que pour les autres, mais, par contre, une amélioration apparente de la consommation spécifique rapportée à l'intensité moyenne sphérique ou au flux lumineux.

Cet effet ne se produit pas avec les ampoules sphériques de grandes dimensions des lampes de 50 bougies.

D'autre part, Hyde et Kennelly, indépendamment, ont expliqué la réduction très rapide de l'intensité utile des lampes à ampoule dépolie par l'effet des réflexions multiples qu'une partie de la lumière subit à travers le dépôt opaque, en raison du pouvoir diffusant de la surface dépolie.

⁽²⁾ SHARP, WEDDING, *Physikalisch-Technische Reichsanstalt*, etc.

⁽³⁾ Les chiffres inscrits dans ce Tableau donnent les consommations spécifiques

» Le progrès des lampes nouvelles consiste non seulement dans la réduction considérable de leur consommation spécifique (1,25 à 1,5 watt au lieu de 3,5 à 4,5 watts par bougie décimale horizontale), mais encore dans la qualité de la lumière plus blanche, qui se rapproche beaucoup plus de celle du jour que l'incandescence par le gaz ou par le carbone et qui est favorable pour beaucoup d'applications où l'on a besoin de comparer les couleurs.

» En outre, un autre progrès important résulte de la facilité que l'on a (grâce à la faible consommation spécifique) de construire les lampes à filaments métalliques pour de grandes puissances lumineuses (jusqu'à 500 bougies) sans être arrêté, comme on l'était autrefois pour les lampes au carbone, par la section trop considérable des fils de platine d'amenée de courant. Ces lampes de 200 à 500 bougies ont un rendement au moins égal à celui des lampes de petite intensité, car le filament est plus gros; il est aussi plus facile à manier, et il est moins sensible aux causes de détérioration et de bris. Ces lampes puissantes, qui peuvent avoir leur application dans l'éclairage public (surtout avec les nouvelles enveloppes holophanes à distribution horizontale) et dans les grands espaces couverts, enlèveront la clientèle des lampes Nernst, d'autant mieux qu'elles peuvent être construites encore facilement pour 220 volts; elles peuvent aussi concurrencer les petits arcs enfermés modernes de 2 à 5 ampères, qui, même avec un seul globe et des charbons fins, ne consomment pas moins de 1 à 1,20 watt par B_{lm} , et plus difficilement les grosses lampes à gaz.

» *Prix de revient de l'éclairage électrique par incandescence.* — Les prix de revient de l'éclairage par ces diverses lampes à incandescence électrique peuvent être calculés très rapidement par la formule générale suivante :

$$\Pi = \frac{p}{TL} + \frac{p'W}{1000},$$

en désignant par p le prix de la lampe, p' le prix de l'énergie (kilowatt-heure), L l'intensité lumineuse moyenne sphérique en

moyennes pendant la vie, tandis que, dans le Tableau suivant, la comparaison avec le gaz est faite d'après les rendements mesurés au moment de l'allumage pour les deux espèces d'éclairage.

bougies, T la durée des lampes, W la consommation spécifique moyenne par bougie moyenne sphérique (¹).

» Le Tableau ci-joint, dressé pour les lampes au carbone et les lampes 32 B_h métalliques montre la supériorité de ces dernières, même dans les installations fabriquant leur énergie (²), quand les lampes sont un peu fortes. Cependant la lampe au carbone conserve des applications, au moins provisoirement, dans tous les cas où il s'agit de plus faibles intensités lumineuses, par exemple pour les lampes de 5 à 10 bougies, ou lorsque l'énergie coûte moins de 0,03 fr le kilowatt-heure, ou enfin lorsque les trépidations sont à craindre. Le filament graphite peut alors trouver son application. C'est une comparaison à faire dans chaque cas. On traitera plus loin le cas de 220 volts.

(¹) Si l'on porte ces prix totaux en ordonnées en fonction du prix de l'énergie porté en abscisses, on obtient des droites inclinées, qui permettent de comparer les différentes espèces de lampes suivant les conditions différentes d'emploi ; je ne donne pas ce graphique, pour éviter une figure.

(²) Il est du reste facile de déterminer par la formule précédente la valeur du prix d'énergie minimum compatible avec l'emploi des lampes métalliques, en exprimant l'égalité des prix unitaires dans le cas où le prix p' du kilowatt-heure et l'intensité lumineuse L sont constants. On a ainsi, en prenant les prix de renouvellement des lampes pour 1000 heures ($T = 1000$), et, en mettant l'indice 1 pour le carbone et 2 pour le métal, la relation

$$p'(w_2 - w_1)L = p_1 - p_2,$$

ou, à 110 volts, d'après le Tableau ci-après,

$$p'(100 - 35) = 3,75 - 1,70;$$

d'où le prix du kilowatt-heure

$$p' = 0,0316 \text{ fr.}$$

Incandescence par le gaz		Incandescence électrique			
		par le carbone 32 B. de 300 heures		par le tungstène 32 H. de 1000 heures	
ordinaire	renversée.	110 volts.	220 volts.	110 volts.	220 volts.

DÉPENSES D'EXPLOITATION DES LAMPES ÉLECTRIQUES ET A GAZ.

1^o Gaz à 0,20 fr le mètre cube. Électricité à 0,70 fr le kilowatt-heure.

Consommation horaire par lampe, en watts-heure ou en litres.....	80	80	100	100	35	45
Dépense correspondant à la consommation, en francs.	0,016	0,016	0,07	0,084	0,0245	0,0315
Frais de renouvellement de la lampe par heure.....	0,0040	0,004	0,0017	0,003	0,0037	0,0062
Frais totaux d'éclairage par heure.....	0,020	0,020	0,072	0,087	0,028	0,038
Intensité lumineuse sphé- rique moyenne, en bou- gies décimales.....	65	60	28	28	28	28
Prix de la <i>B_{ms}</i> par heure..	0,00030	0,00033	0,00238	0,031	0,010	0,0136

2^o Gaz à 0,10 fr le mètre cube. Électricité à 0,10 fr le kilowatt-heure.

Dépense de consommation.	0,008	0,008	0,01	0,011	0,0035	0,0045
Frais totaux y compris le renouvellement	0,020	0,012	0,012	0,014	0,0072	0,0107
Prix de la <i>B_{ms}</i> par heure..	0,00018	0,00020	0,00043	0,0005	0,00026	0,00038

» *Conséquences pour les entreprises de distribution d'énergie.* — L'introduction très rapide, sur le marché, des filaments métalliques, qui réduisent des $\frac{2}{3}$ la consommation d'énergie par unité de lumière, n'a pas été sans causer un certain émoi aux sociétés distributrices d'énergie (1).

» En effet, la plupart des consommateurs, au moins les particuliers français, désirent faire une économie d'énergie plus encore qu'augmenter leur lumière; la véritable solution pour le vendeur d'énergie consiste, je crois, à *partager la poire en deux*, en leur per-

(1) C'est ainsi qu'on a vu en Angleterre M. A. Wright suggérer un règlement qui ne permettrait pas aux consommateurs de réduire leurs dépenses d'énergie au moyen de lampes nouvelles, mais seulement d'augmenter leur lumière en dépensant le même courant. Il est évident que de telles mesures restrictives, même si elles peuvent avoir une valeur légale, ce qui n'est pas le cas en France, soulevaient rapidement une telle opposition, qu'on ne pourrait les maintenir.

mettant d'avoir plus de lumière tout en payant moins cher, et en étendant sa clientèle aux dépens de l'éclairage au gaz.

» A ce point de vue, le fait que les lampes à filaments métalliques ne se prêtent bien, jusqu'ici, qu'à la réalisation des unités de 25 et de 32 bougies est une circonstance favorable à cette solution sur les réseaux à 110 volts. Dans les villes importantes, les besoins d'éclairage sont indéfinis; la consommation d'énergie ira donc finalement en augmentant après l'adoption des nouvelles lampes; au contraire, on peut craindre que, dans les petites villes, où la clientèle de l'éclairage électrique est déjà fixée définitivement et ne peut s'augmenter, ni accroître son éclairage, cette compensation favorable ne se produise pas.

» Heureusement l'œil devient de plus en plus exigeant en matière d'éclairage artificiel; la lampe de 50 bougies a déjà maintenant plus d'amateurs qu'il y a deux ans.

» *Cas des réseaux à 220 volts.* — Sur les réseaux à 220 volts, heureusement rares en France, mais nombreux à l'étranger (en Allemagne la proportion des réseaux à 220 volts récemment créés atteint 80 pour 100), la situation du consommateur reste défavorable, comme elle l'était déjà. En effet, il ne peut guère employer des lampes à filaments métalliques de moins de 40 bougies, dont la consommation n'est guère inférieure à celle des lampes au carbone de 16 bougies et est, en tous cas, supérieure à celle des lampes de 8 et 10 bougies qu'elles peuvent être appelées à remplacer. On annonce cependant des lampes tantale et tungstène de 25 B_h .

» Les lampes au carbone de 220 volts durent trois fois moins à consommation égale ou consomment 15 à 25 pour 100 de plus à durée égale que les lampes de 110 volts (1); en outre, elles coûtent de 50 à 80 pour 100 en plus.

» Pour le tungstène, d'après l'expérience de la Société Auer allemande (Remané), le passage de 110 à 220 volts augmente la consommation de 25 pour 100 pour même durée de vie et le prix des lampes de 2,50 fr; et il n'est pas probable qu'on fasse jamais des lampes pour 220 volts de moins de 25 H_h , ni consommant moins

(1) Expériences de Howell, Janet, Lauriol, etc.

que $1,25 w : h$ pour $40 H_h$, $1,4 w : h$ pour $32 H_h$ et $1,6 w : h$ pour $25 H_h$ ⁽¹⁾.

» Pour obtenir l'éclairage aussi économique avec une distribution à 220 volts qu'avec un système à 110 volts, si l'on ne veut pas augmenter l'unité de lumière au delà de 32 bougies, il faudrait donc que le prix de l'énergie vendue fût de 25 pour 100 au-dessous de celui de la distribution à 110 volts, ce qui ne paraît pas possible.

» L'avantage du consommateur n'est donc pas toujours certain et peut être traduit, s'il remplace des lampes de 10 bougies, par une augmentation forcée de lumière achetée au prix d'une augmentation de dépense.

» La tension de 220 volts est donc à déconseiller franchement pour des entreprises nouvelles.

» Les entreprises de distribution existantes conserveront probablement leur vente sans faire beaucoup d'adeptes nouveaux aux dépens du gaz.

» *Groupement en série.* — Les inconvénients qui résultent du bris d'un seul filament dans une lampe à 4 et *a fortiori* à 8 filaments, du fait que tous les autres filaments se trouvent perdus, alors qu'ils sont peut-être encore presque neufs, ont conduit certains électriciens, par exemple la Société *Stearn Electric Lamp Co*, à préconiser sous le nom de *Leuconium* l'emploi de 5 ou 10 lampes à filament unique, à ampoule cylindrique, groupées en série sur une monture commune, munie d'une douille semblable à celle des lampes ordinaires et qu'on peut remplacer individuellement ⁽²⁾.

(1) L'infériorité des lampes à 220 volts résulte à la fois de la finesse et du nombre plus grand des filaments dans la lampe, ce qui augmente les chances de casse en cours de fabrication et le prix de revient de la lampe, en même temps que la probabilité de mise hors de service; enfin de l'accroissement, par la tension plus élevée, des phénomènes d'électro-vaporisation des filaments et d'ionisation des gaz résiduels contenus dans l'ampoule. Pour tous ces motifs, il ne suffit pas, pour réaliser une bonne lampe de 220 volts, de prendre le même diamètre de filament que pour la lampe à 110 volts et de doubler la longueur. Ces difficultés existent aussi bien avec la lampe métallique qu'avec la lampe au carbone.

(2) Les supports en porcelaine ont des contacts tout préparés pour recevoir les plugs des petites lampes; chaque lampe peut être remplacée par une résistance de substitution, grâce à un système de deux petites appliques d'étain séparées par une couche d'isolant, qui résiste à une tension de 20 à 25 volts seulement; dès qu'un

» Un dispositif analogue, placé en dehors de la lampe, permet aussi de disposer des lampes d'une même série dans différentes parties de l'appartement, mais au prix d'une notable complication des circuits. L'avenir seul pourra dire si cette solution, en apparence ingénieuse, mais compliquée, répond aux désirs et aux mœurs de la clientèle. Celle-ci ne semble pas avoir été très favorable jusqu'ici aux lampes groupées en série (2×50 volts ou 3×33 volts) comme on était obligé d'employer les premières lampes à filaments métalliques; c'est pourquoi tous les fabricants ont été obligés d'établir des types à 110 et 220 volts.

» Par contre, la mise en série serait avantageuse pour l'éclairage public de voies trop peu importantes pour justifier l'installation de lampes à arc; il y aurait lieu de créer pour cette application une lampe-série à gros filament métallique, qui remplacerait avantageusement les lampes-série à filament de carbone, et aura une moindre consommation spécifique que la lampe à filament fin de même puissance (grâce à la température plus élevée de l'intérieur du filament).

» *Cas des réseaux à courants alternatifs.* — Les inconvénients techniques d'une tension de distribution élevée disparaissent s'il s'agit de courants alternatifs, car l'emploi de transformateurs permet toujours d'abaisser la tension à 110 volts chez le consommateur. Les petits transformateurs dits *économiseurs*, qui ont été construits (d'après nos conseils) et exposés pour la première fois par M. Weissmann en 1900, donnent une solution meilleure et sont d'ailleurs à recommander même sur les réseaux à 110 volts.

» Ces transformateurs permettent de tirer actuellement le maximum d'avantages (économie et durée) des lampes métalliques en alimentant, avec un rendement de 88 pour 100 et au delà (1), des

filament se brise, cette isolation est rompue et le courant passe par la résistance de substitution. Ce dispositif est assez petit pour trouver place dans la tête en cuivre qui supporte la série de lampes; on trouve ainsi immédiatement quelle est la lampe éteinte, et l'on peut la remplacer.

(1) Le rendement atteint même près de 100 pour 100 quand le transformateur joue simplement le rôle de diviseur de tension d'un groupe et de compensateur éventuel en cas d'extinction d'une des lampes dudit groupe.

lampes de petite intensité, à 20 ou 25 volts, à *filament unique*, plus robustes, d'un prix moins élevé de 50 à 60 pour 100, et d'une durée plus longue que les lampes à 110 volts; ces transformateurs individuels, travaillant toujours à pleine charge, soit sur une lampe, soit sur un groupe de lampes allumées ensemble, et coupés du réseau quand on éteint la lampe, ne risquent pas, comme les transformateurs restant en circuit constamment, de modifier, d'une manière défavorable, le facteur de puissance du réseau (¹). Dans ces conditions, le consommateur peut faire porter son économie entièrement sur le courant, en remplaçant chaque lampe à filament de charbon par une lampe métallique de même puissance, et il n'a à déduire qu'une faible augmentation du prix de ces lampes. L'emploi de transformateurs augmente de 10 à 12 pour 100 l'énergie fournie par la centrale. L'économiseur permet aussi de réaliser des lampes de grande puissance lumineuse à filament robuste très poussé.

» *Comparaison avec l'éclairage au gaz.* — La comparaison entre l'incandescence électrique et l'incandescence au gaz peut être faite d'abord au point de vue économique, puis à des points de vue plus généraux.

» Au point de vue économique, il faut avouer que l'incandescence au gaz a continué à progresser; c'est ainsi qu'en France les nouveaux becs N. B. I., primés par la Société technique de l'Industrie du gaz, réalisent avec des manchons Plaissetty le carcel avec 8 l à 10 l de gaz, soit en chiffres ronds une consommation de 1 l par bougie; le remplacement d'un manchon toutes les 600 heures coûte 1,20 fr, à quoi il faut ajouter environ 0,30 fr pour amortissement de la cheminée de verre, au total 1,50 fr, soit par heure d'éclairage 0,0025 fr. Le prix du gaz est variable selon les lieux; nous avons pris le gaz à 0,20 fr le mètre cube, puis à 0,10 fr, et admis que le bec normal de 80 l donne environ 60 B_{ms} . Le prix total de la bougie-heure ressort, dans ces deux hypothèses, aux chiffres du Tableau des prix donné plus haut. Dans ce Tableau, nous avons donné comparativement les prix de la bougie-heure produite par l'incandescence électrique, dans l'hypo-

(¹) L'usage de transformateurs marchant à *vide* ou *incomplètement chargés* devrait, à ce point de vue, être interdit par les centrales.

thèse de 0,70 fr, puis de 0,10 fr le kilowatt-heure. On voit que le gaz conserve encore une avance au point de vue du prix de revient et que l'avantage est plus ou moins marqué suivant les prix de l'unité d'énergie, et que la différence est beaucoup réduite par l'emploi des lampes métalliques.

» Mais il ne faut pas seulement considérer le prix de revient de la bougie-heure, il faut tenir compte encore des mœurs du public, qui ne fait pas la comparaison tout à fait sous cette forme et se préoccupe bien plutôt de la dépense par lampe réelle que de la dépense par unité théorique de lumière. Pourvu que la dépense par foyer ne soit pas augmentée et ne dépasse pas 0,02 fr à 0,025 fr à l'heure (chiffre auquel on a été habitué par le pétrole), le consommateur français ne fait pas d'objection sérieuse à ce que les lampes électriques à faible consommation donnent une puissance plus faible que les becs à gaz en usage; c'est ainsi que, jusqu'à l'année dernière, on ne dépassait guère en France les unités de 16 bougies pour les lampes à charbon, 25 pour les lampes à l'osmium et 32 pour les lampes au tungstène, et que, encore aujourd'hui pour ces dernières, le type courant est de 25 bougies au lieu de 10 bougies pour les filaments de charbon; tandis que la puissance la plus courante des brûleurs à l'incandescence par le gaz est de 60-80 bougies, et qu'à l'étranger où l'énergie est moins chère on accepte, pour des motifs analogues, le type tungstène de 40-50 H_h ⁽¹⁾.

» D'ailleurs, la lampe à incandescence peut être placée plus bas que le bec de gaz et n'a donc pas besoin d'une intensité aussi grande pour éclairer de la même manière la table ou le plancher.

» Enfin, il y a lieu de tenir compte, dans la comparaison d'éclai-

(1) Il est instructif, à ce point de vue, de reproduire ici un Tableau qui résulte des statistiques de vente de la Société Auer, de Berlin, sur la proportion d'emploi des différentes lampes d'après leur puissance lumineuse :

Proportion de lampes vendues en pour 100.

Puissance en bougies.	Lampes. au charbon.	Lampes à l'osmium.	Lampes au tungstène.
16	60	10	»
25	20	55	20
32	15	35	50
50	»	»	30

rages, d'autres considérations que l'économie, notamment de l'hygiène, de l'esthétique, de la commodité d'emploi et d'entretien. Il n'est pas douteux qu'à ces différents points de vue l'électricité l'emporte sur le gaz; ce dernier produit une chaleur excessive et des déchets nocifs, tandis que les nouvelles lampes métalliques dégagent fort peu de chaleur et aucun gaz. Malgré le progrès réalisé au point de vue de l'élégance par les becs renversés (au prix d'ailleurs de notables difficultés d'entretien et d'une réduction de la durée), l'électricité se prête encore beaucoup mieux à tous les usages décoratifs; on peut citer, à cette occasion, les perles électriques Weissmann et toutes les élégantes applications des lampes à incandescence. Enfin, l'allumage de la lampe électrique et son remplacement après usage sont beaucoup plus faciles que ceux d'un manchon à gaz.

» *Conclusions.* — Les progrès réalisés depuis 3 ou 4 ans dans la fabrication des lampes à filaments métalliques sont si rapides, qu'il serait téméraire d'indiquer actuellement dans quelle voie ils se poursuivront. Il semble cependant que, dans le domaine de l'incandescence électrique, le tungstène, qui jouit de merveilleuses propriétés physiques trop longtemps ignorées, doive devenir d'ici peu le corps éclairant par excellence, et que le carbone soit réservé à des cas spéciaux; de même le tantale.

» Les desiderata à réaliser encore pour les lampes métalliques sont les suivants : simplification des procédés de fabrication; réduction du nombre des filaments, de la conductibilité et de la longueur de ceux-ci; réalisation de bonnes lampes à 220 volts; abaissement du prix de revient; enfin et surtout réduction de la fragilité.

» Sans attendre ces progrès, les nouvelles lampes sont appelées à un succès rapide et stimuleront utilement les exigences du public en matière d'éclairage; il en résultera finalement une augmentation de prospérité pour la plupart des grandes distributions d'éclairage électrique. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Larnaude d'avoir présenté à la Société cette Communication de M. Blondel.

**RÉSULTATS D'ESSAIS EFFECTUÉS AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ
SUR LES LAMPES A FILAMENT MÉTALLIQUE.**

M. F. LAPORTE. — « Au remarquable exposé de M. Blondel je n'ai rien à ajouter, ni à préciser, mais je voudrais vous communiquer quelques résultats expérimentaux et données numériques, contribution des travaux du Laboratoire central d'Électricité à la connaissance de nos nouvelles lampes.

» Elles sont aujourd'hui nombreuses. Il y a dix marques, à notre connaissance, vendues actuellement à Paris (1). Sur ces dix, neuf ont fait l'objet d'essais au Laboratoire central, travaux plus ou moins considérables, suivant les cas. Il semble intéressant d'indiquer tout d'abord les différentes fabrications, les modèles construits par chacune d'elles, ainsi que le prix porté sur les prospectus. Ces renseignements que nous avons réunis datent de moins d'un an; la plupart sont de cet hiver. Dans le Tableau ci-contre, nous avons négligé toutes les lampes d'une tension inférieure à 110 volts et nous avons fait deux catégories : lampes de 110 volts et lampes de 220 volts.

Tableau des lampes fabriquées actuellement et de leur prix de vente.

Intensité nominale : bougies.....	Prix des lampes de 100 à 125 volts et de								Prix des lampes de 220 volts et de			
	16.	20.	25.	32.	40.	50.	100.	200.	40.	50.	100.	200.
Lacarrière Z.....	»	»	4	4	4	4,50	10	»	»	»	»	»
Osram.....	»	»	4	4	»	4	7	19	7	7	10	20
Métal.....	»	»	»	3	»	4	6,50	»	»	6,50	»	»
Osmine.....	»	»	4,25	4	»	4	6,50	»	»	»	»	»
Sirius Kolloïd.....	»	»	4	4	4	4	7	»	»	7	»	»
Philips.....	»	»	4	4	»	4	7,50	»	»	7	9	»
Orion.....	»	»	4	4	4	4	7	»	»	»	»	»
Fulgura.....	»	»	3,50	3,50	»	4	10	»	»	6	12	»
M. S.....	»	»	4	4	»	4	7	»	»	7	8,50	»
Canello.....	5	4,25	»	4	»	»	»	»	»	»	»	»

(1) Plusieurs autres lampes ne sont pas encore sorties de la période des essais ou de la mise au point de la fabrication.

rages, d'autres considérations que l'économie, notamment de l'hygiène, de l'esthétique, de la commodité d'emploi et d'entretien. Il n'est pas douteux qu'à ces différents points de vue l'électricité l'emporte sur le gaz; ce dernier produit une chaleur excessive et des déchets nocifs, tandis que les nouvelles lampes métalliques dégagent fort peu de chaleur et aucun gaz. Malgré le progrès réalisé au point de vue de l'élégance par les becs renversés (au prix d'ailleurs de notables difficultés d'entretien et d'une réduction de la durée), l'électricité se prête encore beaucoup mieux à tous les usages décoratifs; on peut citer, à cette occasion, les perles électriques Weissmann et toutes les élégantes applications des lampes à incandescence. Enfin, l'allumage de la lampe électrique et son remplacement après usage sont beaucoup plus faciles que ceux d'un manchon à gaz.

» *Conclusions.* — Les progrès réalisés depuis 3 ou 4 ans dans la fabrication des lampes à filaments métalliques sont si rapides, qu'il serait téméraire d'indiquer actuellement dans quelle voie ils se poursuivront. Il semble cependant que, dans le domaine de l'incandescence électrique, le tungstène, qui jouit de merveilleuses propriétés physiques trop longtemps ignorées, doive devenir d'ici peu le corps éclairant par excellence, et que le carbone soit réservé à des cas spéciaux; de même le tantale.

» Les desiderata à réaliser encore pour les lampes métalliques sont les suivants : simplification des procédés de fabrication; réduction du nombre des filaments, de la conductibilité et de la longueur de ceux-ci; réalisation de bonnes lampes à 220 volts; abaissement du prix de revient; enfin et surtout réduction de la fragilité.

» Sans attendre ces progrès, les nouvelles lampes sont appelées à un succès rapide et stimuleront utilement les exigences du public en matière d'éclairage; il en résultera finalement une augmentation de prospérité pour la plupart des grandes distributions d'éclairage électrique. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Larnaude d'avoir présenté à la Société cette Communication de M. Blondel.

**RÉSULTATS D'ESSAIS EFFECTUÉS AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ
SUR LES LAMPES A FILAMENT MÉTALLIQUE.**

M. F. LAPORTE. — « Au remarquable exposé de M. Blondel je n'ai rien à ajouter, ni à préciser, mais je voudrais vous communiquer quelques résultats expérimentaux et données numériques, contribution des travaux du Laboratoire central d'Électricité à la connaissance de nos nouvelles lampes.

» Elles sont aujourd'hui nombreuses. Il y a dix marques, à notre connaissance, vendues actuellement à Paris (¹). Sur ces dix, neuf ont fait l'objet d'essais au Laboratoire central, travaux plus ou moins considérables, suivant les cas. Il semble intéressant d'indiquer tout d'abord les différentes fabrications, les modèles construits par chacune d'elles, ainsi que le prix porté sur les prospectus. Ces renseignements que nous avons réunis datent de moins d'un an; la plupart sont de cet hiver. Dans le Tableau ci-contre, nous avons négligé toutes les lampes d'une tension inférieure à 110 volts et nous avons fait deux catégories : lampes de 110 volts et lampes de 220 volts.

Tableau des lampes fabriquées actuellement et de leur prix de vente.

Intensité nominale : bougies.....	Prix des lampes de 100 à 125 volts et de								Prix des lampes de 220 volts et de			
	16.	20.	25.	32.	40.	50.	100.	200.	40.	50.	100.	200.
Lacarrière Z.....	»	»	4	4	4	4,50	10	»	»	»	»	»
Osram.....	»	»	4	4	»	4	7	19	7	7	10	20
Métal.....	»	»	»	3	»	4	6,50	»	»	6,50	»	»
Osmine.....	»	»	4,25	4	»	4	6,50	»	»	»	»	»
Sirius Kolloïd.....	»	»	4	4	4	4	7	»	»	7	»	»
Philips.....	»	»	4	4	»	4	7,50	»	»	7	9	»
Orion.....	»	»	4	4	4	4	7	»	»	»	»	»
Fulgura.....	»	»	3,50	3,50	»	4	10	»	»	6	12	»
M. S.....	»	»	4	4	»	4	7	»	»	7	8,50	»
Canello.....	5	4,25	»	4	»	»	»	»	»	»	»	»

(¹) Plusieurs autres lampes ne sont pas encore sorties de la période des essais ou de la mise au point de la fabrication.

» Au point de vue de leur constitution, toutes les lampes énumérées plus haut comportent un certain nombre de filaments semblables (4, 5, 6 et même 7 pour 110 volts) plus ou moins en forme de V et qui sont montés en série. Les extrémités des filaments d'une part, les sommets d'autre part, sont maintenus par deux étoiles à bras métalliques soudées ordinairement par leur centre à un support en verre placé dans l'axe de la lampe.

» Dans la lampe Canello seule, il n'y a pas de support central en verre. L'une des étoiles est fixée à la base de la lampe et l'autre au sommet.

» *Étude électrique et photométrique.* — Toute étude expérimentale d'une lampe comporte la détermination de la puissance électrique qu'elle absorbe et la mesure de l'intensité lumineuse qu'elle émet pour des régimes de fonctionnement variés; et le procédé qui s'impose est la variation systématique de la tension d'alimentation.

» On remarque tout de suite qu'une lampe métallique donne de la lumière bien plus vite qu'une lampe au carbone. Vers 4 volts, on commence à voir dans l'obscurité le filament métallique d'une lampe de 110 volts, 35 watts; à 5 volts, l'incandescence grise est franchement dépassée et le rouge sombre est très visible. Disons tout de suite que le filament de carbone ne devient visible qu'entre 19 et 20 volts et le fil de tantale entre 6,5 et 7 volts.

» Donc, à partir de 4 volts jusqu'à 110 volts et au delà, nous mesurerons, pour certaines valeurs de la tension, l'intensité du courant qui traverse la lampe, l'intensité lumineuse, et nous aurons ainsi tous les éléments pour calculer facilement la résistance électrique du filament, la puissance électrique dépensée et la consommation spécifique. Ces différentes données peuvent être reportées sur un diagramme, en ordonnées et suivant des échelles appropriées, la tension étant portée en abscisses.

» On trouvera ci-dessous les courbes et tableaux de résultats correspondant à trois lampes : au carbone (20 bougies, 110 volts), au tantale (25 bougies, 110 volts) et au tungstène, marque JH (115 volts, 35 watts).

Lampe au carbone
(110 volts, 20 bougies).

Tension.	Intensité du courant.	Puissance.	Résistance.	Intensité lumineuse.	Consommation spécifique.
—	—	—	—	—	—
Volts.	Ampères.	Watts.	Ohms.	Bougies décimales.	Watts par bougie.
18,9	0,084	1,58	226	Limite de visibilité	
35	0,177	6,2	198	»	»
50	0,274	13,7	182	»	»
70	0,413	28,8	169,5	0,7	41
80	0,482	38,5	165,9	1,85	20,8
90	0,557	50,1	161,6	4,53	11,6
100	0,635	63,45	157,5	9,77	6,49
110	0,710	78,2	155	18,2	4,3
120	0,786	94,3	152,7	30,5	3,09
130	0,865	112,5	150,4	48,6	2,32
140	0,942	132	148,1	74,8	1,76
150	1,030	154,4	145,6	110	1,40

» Nous avons fait cette étude pour cinq lampes à filament métallique, de construction différente, marques A, C, G, H et I, et dont les constantes étaient :

110 volts,	37,2 watts,	31 bougies,
40 —	16 —	12 —
115 —	38 —	30 —
115 —	35 —	25 —
105 —	30 —	22,5 —

» Une transformation des résultats était nécessaire pour rendre les comparaisons faciles. La seule donnée expérimentale comparable pour ces différentes lampes est la consommation spécifique qui permet de choisir un régime, quelles que soient d'ailleurs les tensions ou les intensités lumineuses. Nous avons choisi pour cette comparaison la consommation spécifique de 1,3 watt par bougie décimale, ce qui correspond à la moyenne des régimes adoptés par les différents constructeurs.

» Sur chacune des courbes tracées, il est facile de rechercher la valeur de la tension, de l'intensité lumineuse, de la puissance dépensée, de l'intensité du courant pour le régime qui correspond à une consommation spécifique de 1,3 watt par bougie. Prenant alors arbitrairement ces différentes valeurs pour unités, nous cal-

Lampe au tantale

(110 volts, 25 bougies).

Tension.	Intensité	Puissance.	Résistance.	Intensité	Consommation
—	du courant.	—	—	lumineuse.	spécifique.
Volts.	Ampères.	Watts.	Ohms.	Bougies	Watts par
				décimales.	bougie.
6,45	0,052	0,35	122,5	Limite de visibilité	
16,9	0,099	1,67	171	»	»
33	0,157	5,18	210	»	»
49,6	0,210	10,4	236	»	»
60	0,240	14,4	250	1,48	9,8
70	0,268	18,75	261	3,14	6,0
80	0,297	23,6	270	5,7	4,15
90	0,322	29,0	280	9,6	3,02
100	0,347	34,7	289	15,0	2,31
110	0,373	41	296	22,5	1,82
120	0,397	47,7	303	32,2	1,48
130	0,420	54,7	309	44,4	1,23

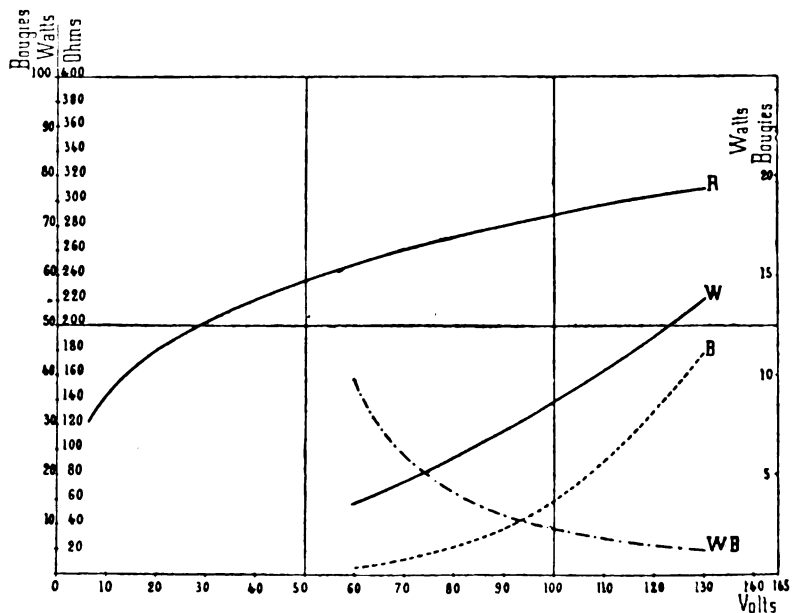


Fig. 2. — Lampe au tantale, 110 volts, 25 bougies.

Note. — L'échelle des consommations spécifiques placée à droite est graduée en watts par bougie.

Lampe au carbone

(110 volts, 20 bougies).

Tension.	Intensité du courant.	Puissance.	Résistance.	Intensité lumineuse.	Consommation spécifique.
—	—	—	—	—	—
Volts.	Ampères.	Watts.	Ohms.	Bougies décimales.	Watts par bougie.
18,9	0,084	1,58	226	Limite de visibilité	
35	0,177	6,2	198	»	»
50	0,274	13,7	182	»	»
70	0,413	28,8	169,5	0,7	41
80	0,482	38,5	165,9	1,85	20,8
90	0,557	50,1	161,6	4,53	11,6
100	0,635	63,45	157,5	9,77	6,49
110	0,710	78,2	155	18,2	4,3
120	0,786	94,3	152,7	30,5	3,09
130	0,865	112,5	150,4	48,6	2,32
140	0,942	132	148,1	74,8	1,76
150	1,030	154,4	145,6	110	1,40

» Nous avons fait cette étude pour cinq lampes à filament métallique, de construction différente, marques A, C, G, H et I, et dont les constantes étaient :

110 volts,	37,2 watts,	31 bougies,
40 —	16 —	12 —
115 —	38 —	30 —
115 —	35 —	25 —
105 —	30 —	22,5 —

» Une transformation des résultats était nécessaire pour rendre les comparaisons faciles. La seule donnée expérimentale comparable pour ces différentes lampes est la consommation spécifique qui permet de choisir un régime, quelles que soient d'ailleurs les tensions ou les intensités lumineuses. Nous avons choisi pour cette comparaison la consommation spécifique de 1,3 watt par bougie décimale, ce qui correspond à la moyenne des régimes adoptés par les différents constructeurs.

» Sur chacune des courbes tracées, il est facile de rechercher la valeur de la tension, de l'intensité lumineuse, de la puissance dépensée, de l'intensité du courant pour le régime qui correspond à une consommation spécifique de 1,3 watt par bougie. Prenant alors arbitrairement ces différentes valeurs pour unités, nous cal-

culerons par une simple proportion toutes les autres valeurs de chaque quantité en centièmes de cette unité.

» Toutes les courbes de lampes métalliques deviendront comparables, puisque les différentes variables sont exprimées en centièmes

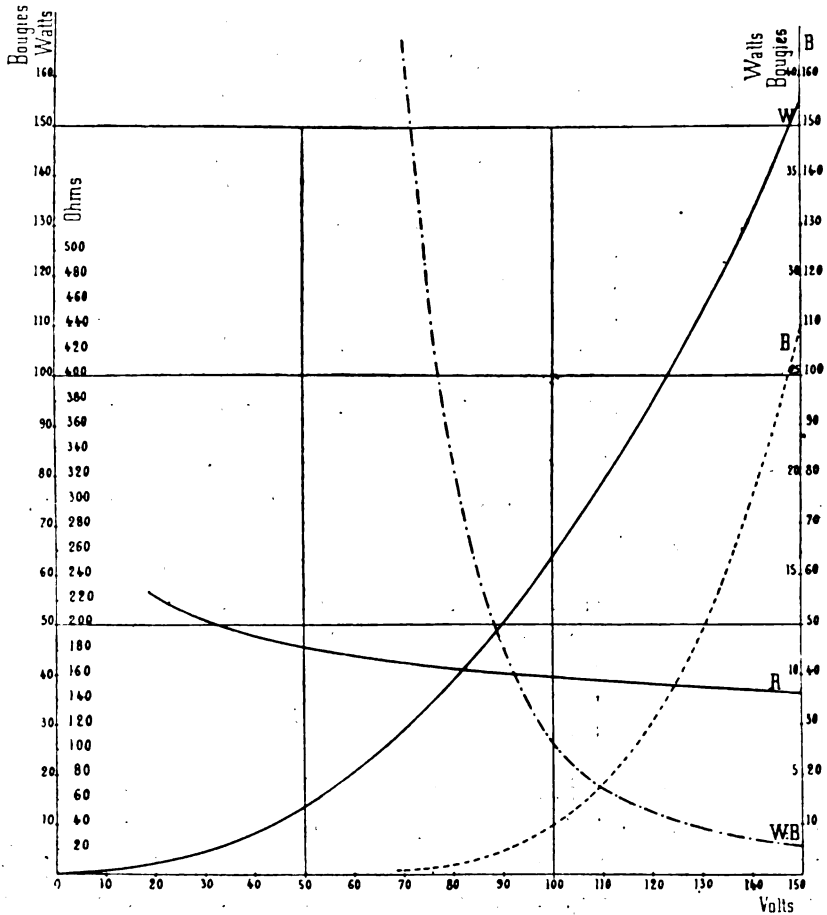


Fig. 3. — Lampe au carbone, 110 volts, 20 bougies.

Note. — L'échelle des consommations spécifiques placée à droite est graduée en watts par bougie.

de la valeur correspondant au fonctionnement choisi comme normal.

» On peut donc construire une nouvelle courbe dont les échelles sont seulement proportionnelles.

» Ces cinq lampes étudiées avaient été choisies nettement différentes comme procédé de fabrication. Cependant, les cinq courbes d'intensité lumineuse sont superposables et, en groupant les résul-

tats sur un seul diagramme comme on l'a fait ci-dessous, les diffé-

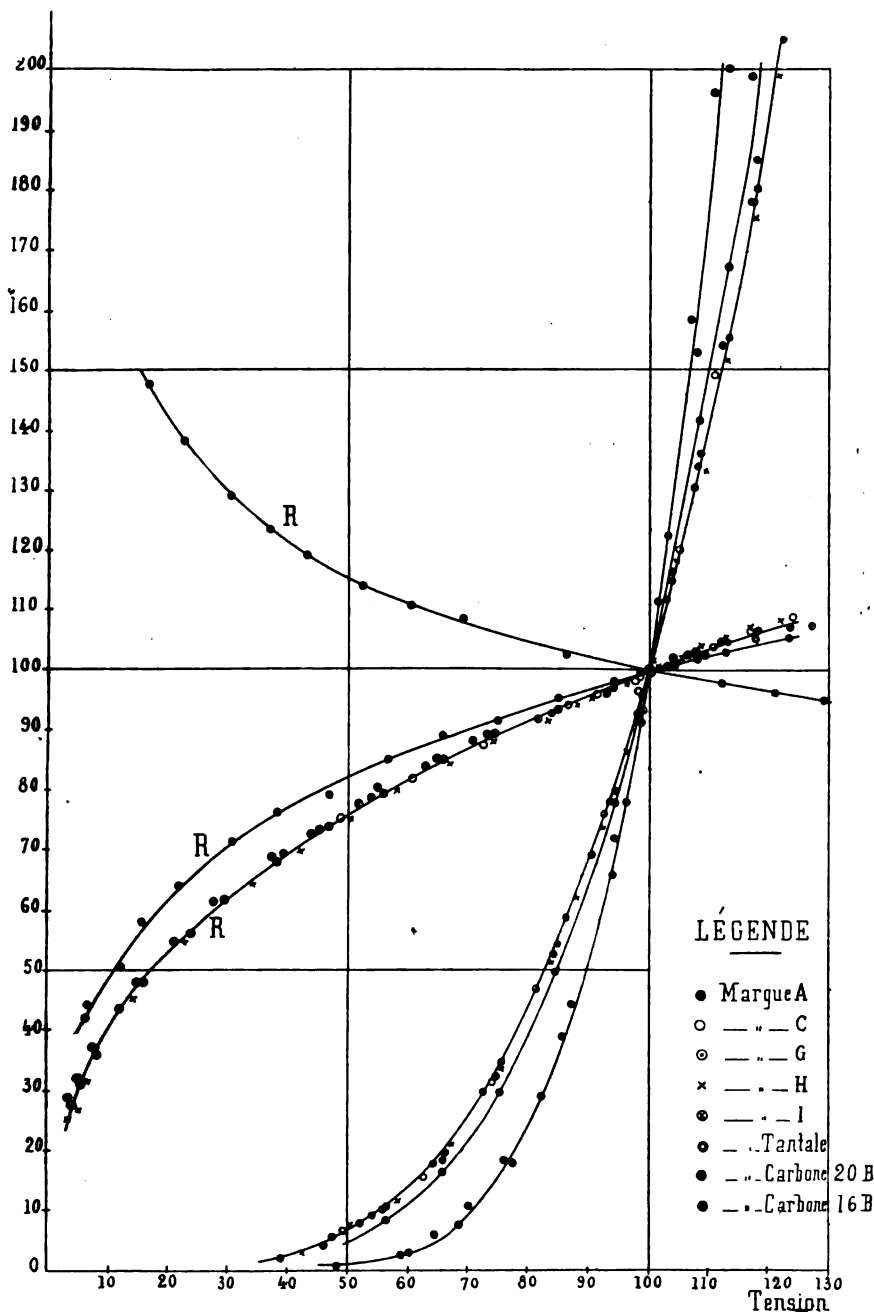


Fig. 4. — Variations proportionnelles de l'intensité lumineuse et de la résistance de lampes au tungstène, au tantale et au carbone.

rents points se placent sur une seule courbe avec toute l'exactitude

qu'on peut attendre de la précision des mesures. Il en est de même pour la résistance électrique du filament (*fig. 4*).

» On peut donc dire qu'au point de vue électrique et photométrique les filaments obtenus par les différentes fabrications se comportent de la même façon.

» On a reporté sur le même diagramme les résultats obtenus avec une lampe au tantale, rapportés de même aux valeurs du régime correspondant à une consommation spécifique de 2 watts par bougie.

» Comme on peut le voir sur la courbe de l'intensité lumineuse, la variation en fonction de la tension est plus rapide que pour la lampe au tungstène.

» On a tracé aussi les points correspondant à deux lampes au carbone. L'un de ces essais est récent, l'autre remonte à 6 ou 8 ans; la concordance entre elles est satisfaisante et la forme de la courbe caractérise une variation encore plus rapide de l'intensité lumineuse. On a choisi comme régime le fonctionnement des lampes avec une consommation spécifique de 3,5 watts par bougie.

Valeur de l'intensité lumineuse en centièmes de l'intensité de régime.	Valeurs de la tension exprimées en centièmes de la tension de régime.		
	Tungstène.	Tantale.	Carbone.
10	56	59	71
50	83	85	90
100	100	100	100
150	112	110	107
200	122	118	112

Valeur de la tension en centièmes de la tension de régime.	Valeurs de la résistance électrique exprimées en centièmes de la résistance de régime.		
	Tungstène.	Tantale.	Carbone.
10	40	48	
50	76	82	115
100	100	100	100
150	107	105	96

» On sait que la courbe d'intensité lumineuse représente graphiquement les variations d'une fonction de la tension de la forme suivante :

$$I = ku^n$$

ou, dans le cas de la courbe proportionnelle,

$$i_0 = u_0^n.$$

On peut facilement vérifier cette hypothèse et trouver la valeur de l'exposant n en portant comme ordonnée et comme abscisse sur un nouveau diagramme $\text{Log } i_0$ et $\text{Log } u_0$. On trouve en effet très sensiblement une droite comme on devait s'y attendre, puisque

$$\text{Log } i_0 = n \text{ Log } u_0,$$

et le coefficient angulaire de la droite donne la valeur de n .

» On a trouvé ainsi comme valeur de n :

Pour les lampes au tungstène.....	$n = 3,6 \text{ à } 3,8$
— tantale	$n = 3,9 \text{ à } 4,3$
— carbone	$n = 5,8 \text{ à } 6,5$

» *Résultats d'étalonnements.* — Le Laboratoire central a étalonné un grand nombre de lampes métalliques. On trouvera ci-dessous les résultats de quelques-uns de ces étalonnements. Tous ces essais correspondent à des mesures faites à la tension indiquée par le constructeur pour ses lampes. Les différentes marques ont été désignées par des lettres. Les chiffres portés ci-après sont tous des moyennes portant sur plusieurs lampes semblables.

» On remarquera tout d'abord qu'aucune consommation spécifique n'atteint 1 watt par bougie. Certains essais ont été effectués au Laboratoire central avec ce régime, mais la fabrication actuelle ne donne pas ce résultat d'une manière industrielle. La consommation spécifique varie de 1,25 watt par bougie à 1,80. Le régime normal des bonnes lampes au tungstène paraît être voisin de 1,30 watt par bougie décimale. Il ne faut pas oublier la différence de plus de 10 pour 100 entre l'intensité lumineuse de la lampe Hefner employée en Allemagne et la bougie décimale, différence qui fait paraître moins économiques les lampes étalonnées en France.

Résultats d'étalonnements à la tension de régime indiquée par le constructeur.

Marque.	Nombre de lampes.	Tension. — Volts.	Valeurs moyennes trouvées pour		
			puissance dépensée. — Watts.	intensité lumineuse.	consommation spécifique.
				— Bougies décimales.	— Watts par bougie.
A	4	110	37,0	29	1,27
	2	115	21	15,9	1,32
B	7	110	30,4	18,5	1,64
	2	115	34,1	20,1	1,70
C'	10	220	73	35,7	2,14
	20	110	44,5	33,4	1,34
C	2	110	42,5	30	1,41
	4	110	41,2	27,9	1,53
	3	110	70	54,7	1,28
D	9	115	34,7	29,0	1,20
	5	110	33,1	22,4	1,49
	4	110	34,3	21,7	1,62
E	4	112	36	25,9	1,39
	5	113	30,7	20,2	1,52
F	3	110	28,3	15,9	1,73
G	10	115	37,9	29,5	1,30
	5	115	35,9	26,6	1,35
H	10	115	35,4	28,6	1,24
	4	110	27,1	19,6	1,38
I	5	120	32,9	19,2	1,71
	5	110	26,55	18,5	1,44
	5	110	27,7	16,0	1,86

» Dans l'étalonnement d'une série de lampes, on doit considérer non seulement la moyenne obtenue, mais aussi la concordance plus ou moins grande des différents résultats.

» Il est bien évident que plus les lampes se rapprocheront individuellement des valeurs moyennes, plus la construction sera satisfaisante. On juge de même la précision d'une arme à feu par la grandeur des écarts en portée et en direction.

» Pour caractériser l'homogénéité d'une fabrication, il est très facile d'employer le procédé classique de la théorie des erreurs et de calculer l'erreur moyenne d'une série de mesures et d'en déduire l'erreur probable.

» Nous venons de photométrer un certain nombre de lampes semblables. Cherchons la moyenne des intensités lumineuses I_m , puis

les différences $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots$ avec chaque valeur particulière. L'erreur moyenne ε_m est la racine carrée de la moyenne des carrés des erreurs :

$$\varepsilon_m = \sqrt{\frac{1}{n} (\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2)},$$

et l'erreur probable e_i est les $\frac{2}{3}$ de l'erreur moyenne. Le calcul des probabilités, je le rappelle rapidement, montre que l'intensité lumineuse de la moitié des lampes sera comprise entre les deux valeurs

$$I_m + e_i \quad \text{et} \quad I_m - e_i;$$

e_i peut donc caractériser le réglage photométrique de cette série de lampes.

» Le même procédé peut être appliqué à la puissance dépensée dans les lampes et aussi à la consommation spécifique.

» En employant le système de représentation bien connu au moyen

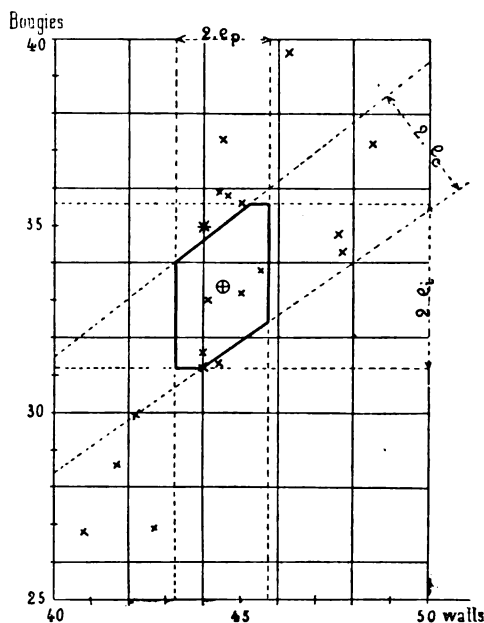


Fig. 5. — Groupement de 20 lampes C. Échelle 5^{mm} par watt.

de deux axes, l'un pour la puissance consommée, l'autre pour l'intensité lumineuse, les résultats de l'étalonnage des différentes lampes sont donnés par une série de points. On peut reporter aussi

sur le diagramme le point correspondant aux valeurs moyennes. Portons de part et d'autre du point moyen les valeurs des écarts

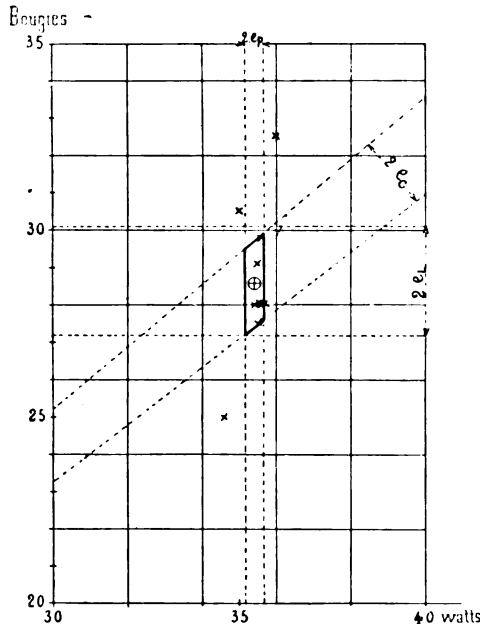


Fig. 6. — Groupement de 10 lampes H. Échelle 5^{mm} par watt.

probables respectivement sur des parallèles à l'axe des puissances et des intensités lumineuses, et traçons le rectangle ainsi déterminé.

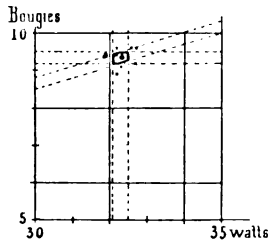


Fig. 7. — Groupement de 10 lampes au carbone. Échelle 5^{mm} par watt.

Ce rectangle, représentation des erreurs probables en puissance et en intensité lumineuse, pourra caractériser l'homogénéité d'un groupe de lampes. Sur ce graphique, les limites de l'écart probable en consommation spécifique sont deux droites passant par l'origine des deux échelles. Le rectangle se trouve ainsi transformé en un hexagone irrégulier. On trouvera ci-dessus, et à la même échelle, les graphiques correspondant à l'étalonnage de 20 lampes C

(fig. 5), de 10 lampes II (fig. 6) et de 10 lampes au carbone admirablement groupées (fig. 7); ce même graphique est reproduit à une échelle 10 fois plus grande (fig. 8).

» Il ne faut pas s'illusionner sur la valeur de ce procédé pour juger la constance d'une fabrication, surtout quand il ne s'applique qu'à

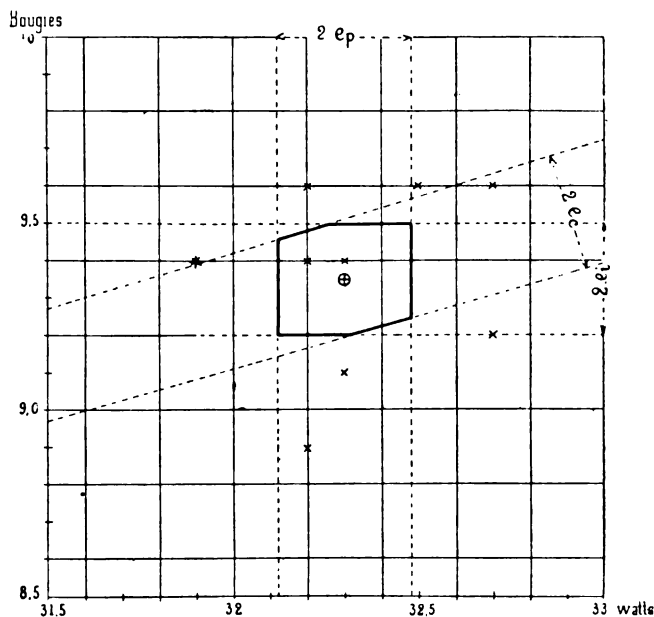


Fig. 8. — Groupement de 10 lampes au carbone. Echelle 50^m par watt.

quelques lampes, qui ont probablement été déjà triées avec soin avant d'être envoyées au Laboratoire central. Après avoir hésité à donner les chiffres suivants, parce qu'ils sont certainement de beaucoup supérieurs à ceux qui correspondent à la production normale des usines, nous nous sommes décidé à les citer néanmoins, parce qu'ils sont intéressants à un point de vue spécial : ils montrent avec quelle exactitude une usine peut classer et trier les lampes après fabrication pour les répartir en lots semblables. De plus, ce procédé nous a paru susceptible de permettre de chiffrer facilement et systématiquement l'homogénéité d'une fourniture.

Comparaison de l'homogénéité de groupes de lampes.

	Désignation des lampes.						Carbone.
	B.	C.	D.	G.	H.		
Nombres de lampes.....	7	20	9	10	10	10	10
<i>Régime.</i>							
Tension (volts).....	110	110	115	115	110	110	110
Puissance (watts).....	30,4	44,5	34,7	37,9	35,4	32,3	50,0
Intensité lumineuse en bougies décimales.....	18,5	33,4	29,0	29,5	28,6	9,35	13,5
Consommation spécifique en watts par bougie.....	1,64	1,34	1,20	1,30	1,24	3,45	3,71
<i>Erreurs probables sur :</i>							
La puissance (watts).....	0,22	1,26	1,21	1,01	0,25	0,18	0,24
L'intensité lumineuse (bougies décimales).....	0,45	2,19	1,20	1,84	1,44	0,15	0,75
La consommation spécifique (watts par bougie).....	0,04	0,07	0,027	0,06	0,05	0,06	0,18
<i>Erreurs probables en cen- tièmes :</i>							
Puissance (e_p).....	0,72	2,83	3,5	2,67	0,7	0,56	0,48
Intensité lumineuse (e_i).....	2,4	6,56	4,15	6,25	5,04	1,6	5,5
Consommation spécifique (e_c).....	2,4	5,2	2,25	4,60	4,0	1,7	4,9
Produit ($e_p + e_i$) $\times e_c$	7,5	48,9	17,2	41,0	23,0	3,68	29,3

» *Flux lumineux ou intensité moyenne sphérique.* — Les différentes lampes métalliques au tungstène ont jusqu'à présent très sensiblement la même forme générale. La répartition lumineuse ne doit donc pas différer beaucoup d'un modèle à un autre.

» L'intensité horizontale est à peu près la même dans toutes les directions (nous supposons l'axe de la lampe vertical); mais, quand on effectue un grand nombre de mesures suivant des directions assez voisines, comme l'a fait Paulus (¹), on trouve des variations qui peuvent atteindre 10 pour 100, soit 5 pour 100 en plus ou en moins de la valeur moyenne.

» La véritable donnée caractéristique d'une lampe au point de

(¹) PAULUS, *Comparaison des différentes méthodes techniques pour obtenir l'intensité horizontale moyenne des lampes à filaments métalliques* (Zeitschrift für Beleuchtungs-wesen, 1908, Heft 17 et 18).

vue photométrique est le flux lumineux ou l'intensité moyenne sphérique. Nous avons cherché le facteur qui permet de passer de l'intensité horizontale à l'intensité moyenne sphérique :

$$K = \frac{\text{intensité moyenne sphérique}}{\text{intensité horizontale}}.$$

Pour les lampes A, B, C, D et H, les résultats sont tous assez voisins et compris entre 0,74 et 0,80 :

Rapport : $\frac{\text{intensité moyenne sphérique}}{\text{intensité horizontale}}$.

Lampe au tantale.....	0,735
Lampe A.....	0,785
Lampe B.....	0,74
Lampe C.....	0,80
Lampe D.....	0,75
Lampe H.....	0,77

» *Durée.* — La durée des lampes métalliques dépend de plusieurs facteurs et il n'est pas possible de la caractériser simplement.

» Tout d'abord, une cause qui limite la vie de beaucoup de lampes est la fragilité du filament. L'emballage, l'expédition, la manœuvre des lampes, qui étaient faciles avec les lampes au carbone, demandent beaucoup de précautions, et cependant une proportion plus ou moins grande de lampes sont brisées et ne s'allument pas à l'arrivée.

» Il est possible aussi que le fonctionnement même altère la résistance mécanique du filament, et, bien qu'on n'ait pas signalé jusqu'ici de modification à sa structure analogue à celle qui se produit dans le fil de tantale employé sur courant alternatif (¹), il semble très probable que la fragilité augmente avec la durée de fonctionnement. Telle serait la cause qui amène la rupture accidentelle dans certains cas : déplacement brusque de la lampe, choc, nettoyage trop brutal, etc. Quelques constructeurs recommandent d'essuyer les lampes lorsqu'elles sont allumées; en effet, le métal est plus mou et moins susceptible de se briser par un léger choc.

(¹) Sharp a signalé la structure grenue d'un filament de lampe au tantale ayant servi sur réseau à courants alternatifs. Nous avons observé au Laboratoire central le même phénomène. Il suffit d'examiner au microscope une portion de fil.

» Parfois, la lampe se brise par suite de l'allongement que prend le filament sous l'action de son poids et avec le ramollissement dû à la haute température. Cette cause de rupture est probablement plus active quand la position des lampes est modifiée au cours de leur allumage.

» Enfin, comme pour les lampes au carbone, il se fait une certaine volatilisation du filament; en même temps que le fil s'amincit et s'use, un dépôt absorbant se produit sur l'ampoule et diminue l'intensité lumineuse de la lampe.

» Par contre, dans bien des cas, soit d'elle-même, soit sous l'influence des mouvements qu'on lui imprime, une lampe brisée se rallume, si les deux brins libres du filament viennent à se toucher; le passage du courant suffit pour faire la soudure. La vie d'une lampe ainsi ressoudée peut parfois être très prolongée.

» Dans un article récent, Remané donne les résultats très intéressants d'une série d'essais systématiques effectués sur les lampes *Osram* ⁽¹⁾. Il admet, pour la vie utile d'une lampe, la durée qui s'écoule jusqu'au moment où l'intensité lumineuse a baissé de 20 pour 100 depuis sa valeur initiale. Il a cherché les durées des lampes pour leur tension de régime et pour des tensions plus fortes variant de 5 en 5 pour 100 jusqu'à 25 pour 100. La durée normale d'une lampe *Osram* est de 1800 heures; mais, avec 5 pour 100 de tension en plus, elle est déjà réduite à la moitié, 900 heures, et, avec une tension supérieure de 25 pour 100 à la tension de régime, la durée n'est plus que de 70 heures. La consommation spécifique normale des lampes est de 1,1 par Hefner, c'est-à-dire 1,23 watt par bougie décimale. Remané omet de nous signaler la manière dont il fait intervenir les lampes brisées dans ses expériences avant d'avoir atteint l'intensité lumineuse limite.

» Des nombreux essais de durée effectués au Laboratoire central, il est difficile de dégager un résultat systématique. Les lampes diffèrent naturellement de nature et, neuves, elles commencent l'essai de durée avec des consommations spécifiques fort variables.

⁽¹⁾ REMANÉ, *Influence des surtensions sur la durée des lampes à filaments métalliques* (*E. T. Z.*, 2 septembre 1908). — Voyez aussi *Lumière électrique*, t. IV, 12 déc. 1908, p. 339. — *Industrie électrique*, 25 décembre 1908, p. 609.

» Enfin dans certains cas, et c'est en particulier celui des lampes métalliques que nous avons mis en usage dans le Laboratoire, les variations de tension du Secteur de la Rive gauche réagissent sur la vie des lampes. Leur amplitude est notable puisque, actuellement, suivant les moments de la journée, nous avons de 110 à 120 ou 122 volts. D'après les renseignements donnés par Remané, ces variations peuvent avoir une influence importante sur la vie des lampes.

» Nous diviserons donc les résultats en trois catégories : 1° essais sur tension fournie par des accumulateurs ; 2° essais sur le Secteur de la Rive gauche avec durée de fonctionnement bien connue ; 3° renseignements par évaluation de la durée de fonctionnement des lampes en service pour l'éclairage du Laboratoire.

» 1° Essais de durée sur accumulateurs, tension constante.

» *Lampes E*, 112 volts, 36 watts, 25,9 bougies, 1,39 w : b.

» Sur 4 lampes, l'une devrait être arrêtée après 400 heures, une autre après 1300, la troisième vers 3500 heures ; la quatrième, arrêtée à 600 heures, aurait dû continuer.

» Si l'on prend la moyenne des 3 premières lampes, 1750 heures.

» 3 *lampes E*, de 113 volts, 30,75 watts, 20,2 bougies, 1,52 w : b, après 500 heures d'allumage, donnent une intensité lumineuse de 21,8 et une consommation spécifique de 1,45.

» Avec une consommation spécifique élevée, la durée des lampes doit être très grande.

» Pour 2 *lampes C*, 110 volts, 42,6 watts, 30,5 bougies, 1,40 w : b, après 1200 heures d'allumage, la baisse d'intensité lumineuse est de 6 et de 11 pour 100 en courant continu et alternatif.

» Deux *lampes C*, 37 volts, donnant neuves 1 w : b, et allumées dans ces conditions, ont subi une augmentation de consommation spécifique de 25 pour 100, l'une en 700 heures, l'autre en 320 heures, soit 500 heures en moyenne.

» 2° Essais sur le Secteur de la Rive gauche :

» 2 *lampes E*, 113 volts, 30,75 watts, 20,8 bougies, 1,48 w : b. Après 500 heures sur le Secteur de la Rive gauche, elles donnent encore 23 bougies en moyenne.

» Tandis qu'une lampe semblable, mais de 1,20 w : b., a son filament rompu.

» *Lampe C.* 110 volts, 55 watts, 35 bougies, 1,54 w : b. Baisse de 9 pour 100 d'intensité lumineuse en 500 heures. Rupture accidentelle vers 920 heures.

» Durée d'une autre lampe : 141 heures.

» Deux autres lampes analogues, 1,73 w : b, ont duré 172 et 594 heures.

» Moyenne : 457 heures.

» *Lampe C'.* Une comparaison intéressante a été faite :

» 10 lampes de 220 volts, 42,5 bougies, 1,8 w : b, ont donné au total, sur le Secteur, 2150 heures, soit 215 en moyenne.

» 6 lampes de 37 volts, 17,5 bougies, 1,22 w : b, ont fonctionné pendant 240 heures en série sur 220 volts ; la première a brûlé à ce moment.

» 3^o Lampes en service au Laboratoire.

» Enfin, nous avons mis en service, au Laboratoire central, une certaine quantité de lampes métalliques pour notre éclairage.

» Il est assez difficile d'apprécier exactement la durée d'allumage de chacune d'entre elles. On peut, il me semble, évaluer à au moins 600 heures la durée d'éclairage annuelle de nos lampes. En partant de cette base, on peut estimer ainsi les durées :

» *Lampes B.* — Sur 10 lampes commandées, 7 s'allument (110 volts, 30,4 watts, 18,5 bougies, 1,64 w : b), 6 ont été mises en service, 3 ont brûlé avant 200 heures de fonctionnement, une d'ailleurs s'est ressoudée.

» L'intensité lumineuse des lampes qui subsistent est d'ailleurs plus forte que l'intensité lumineuse initiale.

» *Lampes C.* — Les 20 lampes reçues s'allument (110 volts, 44,5 watts, 33,4 bougies, 1,34 w : b). Après 800 heures de fonctionnement sur le Secteur, il reste en fonctionnement 6 lampes.

» L'intensité lumineuse des lampes qui subsistent est de 3 pour 100 inférieure à l'intensité initiale.

» *Lampes D.* — Sur 10 lampes, 9 s'allument (115 volts, 34,7 watts, 29 bougies, 1,20 w : b). Sur les 8 lampes mises en service, il en reste 1 ayant environ 400 heures d'allumage.

» La moyenne des durées des 7 lampes brisées est de 220 heures.

» La lampe qui subsiste et qui est ressoudée a une intensité supérieure à l'intensité lumineuse initiale.

» *Lampes G.* — 10 lampes commandées, 10 s'allument (115 volts, 37,9 watts, 29,5 bougies, 1,30 w : b).

» 9 ont été mises en service.

» 2 ont été brûlées, l'une après 100, l'autre après 200 heures d'allumage.

» 1 lampe a été brisée accidentellement.

» 6 lampes en service ont plus de 200 heures d'allumage et l'intensité lumineuse des lampes en service est plus élevée que l'intensité lumineuse initiale.

» *Lampe H.* — Les 10 lampes reçues s'allument (115 volts, 35,4 watts, 28,6 bougies, 1,24 w : b). 9 lampes ont été mises en service et ont actuellement 200 heures d'allumage.

» Les lampes en service ont une intensité lumineuse un peu supérieure à l'intensité initiale.

» *Lampes au tantale.* — Nous avons actuellement 5 lampes qui sont en service depuis le mois de décembre 1906, ayant par conséquent plus de 2 ans de service, soit 1200 heures environ. La consommation spécifique moyenne de ces 5 lampes est de 2,1 w : b et n'est pas par conséquent très supérieure à la consommation spécifique initiale.

» En résumé, nous croyons que, dans les conditions les plus habituelles de la pratique, il n'y a guère lieu actuellement de porter son attention sur la diminution de l'intensité lumineuse des lampes à filament métallique. La rupture semble précéder, ou suivre d'assez près, le moment où l'intensité lumineuse a baissé de 20 pour 100.

» Dans l'indication de la tension faite au fabricant de lampes, on doit tenir compte des variations ordinaires de la tension du réseau pour éviter tout fonctionnement prolongé à un régime trop élevé.

» Les lampes au tungstène de fabrications différentes paraissent posséder des propriétés photométriques équivalentes, mais présentent des différences très notables de fragilité et de durée. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Laporte.

La séance est levée à 10^h 35^m du soir.

INFORMATIONS.

Il vient d'être créé à Paris, sous la présidence d'honneur de MM. Loubet et de Freycinet, la présidence honoraire de MM. d'Arsonval, Gautier, Léauté, Levasseur et Tisserand, membres de l'Institut, et la présidence effective de M. André Lebon, ancien ministre, une *Association française du Froid*, qui examinera les questions des applications du froid artificiel à tous les problèmes de l'hygiène, de l'agriculture, de l'industrie et du commerce français, ainsi qu'aux questions scientifiques, militaires et maritimes.

Le Conseil de cette Association se compose de soixante membres pris parmi les collaborateurs des ministres intéressés à la question, les membres du Parlement, les représentants autorisés des grandes associations, des compagnies savantes et de sociétés industrielles.

L'Association du Froid groupe un grand nombre de Comités régionaux englobant tous les départements français. Elle organisera un *Office de renseignements techniques et contentieux* qui donnera gratuitement des consultations aux membres. De plus, l'Association tiendra, dans le courant de l'année 1909, en province, le premier Congrès français du Froid.

Le siège de l'Association est à Paris, 10, rue Denis-Poisson (XVII^e).

BIBLIOGRAPHIE.

La téléphonie et la télégraphie sans fil, par A. BERTHIER. 1 vol. in-8°. H. Desforges, 1908.

On sait que la théorie électromagnétique de la lumière, la grande œuvre de Maxwell, a servi de point de départ à une application merveilleuse due notamment aux travaux de Lodge, Thomson, Branly, Popoff et Marconi : la transmission de l'énergie à travers l'espace sans fil conducteur.

La radiotélégraphie constitue la première tentative, couronnée de succès d'ailleurs, de cette transmission. La radiotéléphonie, qui en dérive directement, semble devoir sortir prochainement de la période des essais pour entrer à son tour dans une phase industrielle; grâce à une heureuse coïncidence, en effet, elle paraît appelée à bénéficier de tous les progrès de la première : nouvelles méthodes de production des ondes, syntonisation, etc.; aussi a-t-on presque toujours commencé par utiliser des dispositifs analogues, en substituant par exemple un microphone à l'interrupteur et en s'efforçant d'augmenter la fréquence des oscillations pour rendre possible la transmission des ondes sonores.

Ainsi que le fait remarquer l'auteur, le problème de la télégraphie et de la téléphonie à distance sans fil n'est en somme qu'un cas particulier du grand problème du transport de l'énergie à distance. Aussi, procède-t-il méthodiquement en étudiant d'abord la question au point de vue général.

Puis il expose successivement les deux méthodes principales de production des oscillations électriques reposant, l'une sur l'emploi des procédés mécaniques, l'autre sur l'emploi de l'arc chantant, et étudie plus spécialement les méthodes générales de radiotéléphonie dont tous les procédés sont applicables à la radiotélégraphie.

Die elektrischen Eigenschaften und die Bedeutung des Selens für die Elektrotechnik.

Les propriétés électriques et l'emploi du sélénium en Électrotechnique, par le Dr CUR. RIES, professeur au gymnase royal. Berlin-Nikolassee, Normanstrasse, 2, administration du journal *Der Mechaniker*.

Après quelques généralités concernant ce sujet et les procédés de cristallisation, l'auteur traite de la préparation des éléments au sélénium et de leurs propriétés.

Il examine l'influence de la température, puis de la lumière, sur la conductibilité électrique et les phénomènes anormaux qui s'y rattachent (intensité lumineuse, couleur de la lumière, etc.), et signale, en particulier, une nomenclature des publications visant les propriétés du sélénium.

Enfin, les applications de ce corps sont résumées dans un dernier et intéressant Chapitre.

Manuel pratique pour l'application des nouveaux règlements sur les distributions d'énergie électrique (faisant suite à la loi du 15 juin 1906). Frais de contrôle, taxes de voirie, autorisations et concessions diverses, cahier des charges type, etc. ; par PAUL BOUGAULT, avocat à la Cour d'appel de Lyon.

La loi de 1906 sur les distributions d'énergie électrique annonçait une série de règlements d'administration publique destinés à compléter et préciser certaines dispositions prévues par la loi.

Les décrets relatifs à ces questions se sont échelonnés dans la suite des temps.

Épars dans les publications officielles et dans les journaux techniques, il était opportun, la législation étant aujourd'hui complète (jusqu'à plus ample informé), de réunir toute la documentation dans une publication coordonnée. C'est ce qu'a fait M. Bougault en joignant au collationnement des décrets et instructions de nombreuses considérations sur les questions litigieuses que pourraient soulever lesdits décrets.

Avec le *Commentaire de la loi sur les distributions (loi du 15 juin 1906)* précédemment publié, le nouveau Volume constitue le complément indispensable de toute bibliothèque de secrétariat d'entreprise industrielle ou de distribution d'énergie électrique ou d'ingénieur-conseil.

L'éclairage privé et la force motrice dans le droit privé (gaz, acétylène, électricité), par ÉTIENNE CARPENTIER, docteur en Droit, avocat à la Cour d'appel. Librairie de la Société du Recueil J.-B. Sirey et du *Journal du Palais*.

Contrairement à ce que les titres et qualités de l'auteur pourraient faire croire, l'Ouvrage de M. E. Carpentier ne traite pas exclusivement de questions de Droit ; deux Chapitres très littéraires y sont consacrés à l'histoire des procédés d'éclairage privé et à la nature juridique de ceux-ci.

Les divers modes d'exploitation, au point de vue administratif, sont ensuite passés en revue, ainsi que les réglementations s'y rapportant.

Le sujet, quoique présentant naturellement moins d'ampleur que celui des distributions publiques, n'en renferme pas moins nombre de détails intéressants.

Aussi peut-on considérer ce Volume très soigné comme une sorte de manuel fixant, en particulier, les rapports des locataires d'éclairage privé avec les propriétaires des distributions de cette nature ; les droits, devoirs et responsabilités des parties y sont analysés. En bien des circonstances, les intéressés pourront y puiser d'utiles conseils.

Génératrices électriques à courant continu, par HENRY-M. HOBART, M. I. C. E., et F. ACHARD, ingénieur à la Société alsacienne de Constructions mécaniques. H. Dunod et E. Pinat, éditeurs.

En dehors des Traités généraux concernant l'Électricité industrielle et forcément restreints au point de vue pratique, apparaissent, avec une faveur de plus en plus marquée, les publications d'ingénieurs expérimentés sur des sujets auxquels ils ont consacré leur activité industrielle.

L'Ouvrage de MM. Hobart et Achard est de ce nombre ; l'autorité reconnue des auteurs dispense de longs commentaires et d'éloges superflus.

Le but poursuivi est annoncé dans la Préface : servir de guide à l'étudiant et venir en aide au calculateur dans son travail journalier.

Mais ce qui fait, entre autres, la valeur exceptionnelle des *génératrices électriques à courant continu*, c'est d'être un Volume réellement vécu par la documentation qu'il contient.

Outre les principes de détermination des machines à courant continu, une série d'exemples empruntés à la pratique de constructeurs de différents pays et soumis à une analyse détaillée permet de se rendre compte des conditions pratiques d'établissement des machines.

Des Tableaux, tout préparés pour 18 projets de génératrices, peuvent servir d'excellent exercice à l'étudiant pour suivre la marche des calculs dont, pour contrôle, les résultats sont indiqués dans un Appendice distinct.

Les diverses questions qui s'imposent à l'examen du constructeur électricien sont présentées sous une forme simple et pratique, sans développements mathématiques compliqués ni théories parfois illusoires. Une étude consciencieuse des moyens réellement usités par les praticiens, tels que les exposent MM. Hobart et Achard, permettra toujours aux chercheurs curieux de plus de minutie de se reporter à des Ouvrages plus détaillés.

Étude du retour par la terre des courants industriels. Expériences exécutées entre Lancey et Grenoble en 1906-1907. Commission présidée par M. E. HARLÉ. Compte rendu des expériences par M. BARBILLION. Interprétation des essais et conclusions par M. BRYLINSKI.

Le Comité d'Électricité institué par la loi du 25 juin 1875 fut appelé, en 1902, à donner son avis sur un projet de transport d'énergie avec emploi de la terre comme conducteur de retour.

Une Commission spéciale, désignée par le Comité, opéra une série d'expériences, en 1903, à Lancey, destinées à rendre compte de la manière dont le courant pénétrait dans le sol et s'y diffusait. Le Rapport, résumant les travaux de cette Commission, concluait à l'innocuité de l'emploi de la terre comme retour des courants industriels, sous réserve d'un examen approfondi des effets d'induction entre lignes parallèles, problème que, faute de moyens, la Commission n'avait pu élucider.

La nécessité d'une seconde série d'expériences s'imposant, celle-ci fut, après une patiente préparation, entreprise en août 1906.

Tout un matériel spécial était à instituer et toute une organisation à prévoir. D'innombrables observations ont été recueillies grâce aux savantes et ingénieuses méthodes élaborées par M. Brylinski et au concours de M. Barbillion et de nombreux collaborateurs.

C'est le compte rendu des travaux de la Commission qui vient d'être publié. Il serait trop long d'entrer dans le détail d'opérations aussi importantes. Il suffira d'indiquer ici que les résultats obtenus n'infirment pas les conclusions de 1904.

La documentation remarquable, la description des appareils constituent une base des plus importantes pour la poursuite des études d'une question aussi capitale.

Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Magnetismus.

Introduction à la théorie de Maxwell de l'Électricité et du Magnétisme, par le Dr CLÉMENT SCHAEFFER. Collection des publications mathématiques et physiques pour les ingénieurs et les étudiants, sous la direction de E. JAHNKE. Teubner, éditeur à Leipzig et Berlin, avec un portrait de J.-C. Maxwell, et 32 figures dans le texte.

L'auteur s'est appliqué à présenter par les moyens les plus simples les idées de Faraday et Maxwell, en réduisant le traitement mathématique au minimum et à des procédés accessibles aux étudiants et aux ingénieurs.

Le premier Chapitre traite des phénomènes électrostatiques, le deuxième des lois du magnétisme statique; les formules générales de Maxwell sont développées dans les troisième et quatrième Chapitres (électromagnétisme et induction).

Enfin, le cinquième Chapitre est consacré aux phénomènes caractéristiques envisagés par la théorie de Maxwell : les ondes électriques dans les isolants et les conducteurs et les considérations relatives à la théorie électromagnétique de la lumière.

Elektromagnetische Ausgleichsvorgänge in Freileitungen und Kabeln. Conditions

d'équilibre électromagnétique dans les lignes aériennes et les câbles, par KARL WILLY WAGNER. Collection des publications mathématiques et physiques pour les ingénieurs et les étudiants, sous la direction de E. JAHNKE. Teubner, éditeur à Leipzig et Berlin, avec 23 figures dans le texte.

Ce Volume appartient à la même collection que le précédent; le titre expose suffisamment le but poursuivi par l'auteur : condenser dans un recueil de lecture facile les éléments d'étude d'une question qui donne encore tant de soucis à ceux qui ont à s'occuper, en particulier, de l'établissement ou de la conduite des lignes à haute tension.

Jusqu'ici les écrits sur cette matière étaient assez épars; l'Ouvrage de M. Wagner vient combler heureusement une lacune.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 2 heures à 5 heures. excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

- Année (L') électrique, électrothérapique et radiographique.* Revue annuelle des progrès électriques en 1908, par le Dr Foveau de Courmelles. 9^e année. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-12, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Électricité (L') industrielle mise à la portée de l'ouvrier,* par E. Rosenberg. Traduit de l'allemand par A. Mauduit. 3^e édition, revue et augmentée. Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. in-8, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Leçons d'Électrotechnique générale.* professées à l'École supérieure d'Électricité par M. P. Janet. 2^e édition, revue et augmentée. Tome III. Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Manuel d'Électrotechnique.* Étude des principes généraux et des machines électriques industrielles, par Adolf Thomaelen. Traduit sur la troisième édition allemande par Boy de la Tour. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-8, relié toile (*Don de l'éditeur.*)
- Radiations (Les) des corps minéraux.* Recherche des mines et des sources par leurs radiations. par Henri Mager. Paris, Dunod et Pinat, s. d. [1909]; 1 vol. in-4, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Traction (La) électrique sur la ligne du Fayet à Chamonix et à la frontière suisse,* par M. Auvert. Paris, Dunod et Pinat, 1908; 1 brochure in-4. (*Don de l'auteur.*)
- Traité théorique et pratique des Machines dynamo-électriques,* par Silvanus-P. Thompson. Traduit et adapté de l'anglais sur la septième édition

par E. Boistel. (4^e édition française.) Tome II : *Courants alternatifs*. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-8, relié toile. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Annuaire de l'Association suisse des Électriciens. 19^e année, 1908-1909. Zurich, Fritz Amberger, 1908; 2 vol. brochés in-8 et in-folio (*Don de l'Association suisse.*)

Kraftfelder (Die), von V. Bjerknes (Collection *Die Wissenschaft*, Heft 28). Braunschweig, Fr. Wieweg and Sohn, 1909; 1 vol. in-8, broché. (*Don des éditeurs.*)

Legeeringen van tin en Lood, door Pieter-Nicolaas Degens (Thèse de doctorat ès sciences techniques). Dordrecht, Morks et Geuze, 1908; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'École technique supérieure de Delft.*)

Niederländische (Der) Boden und die Ablagerungen des Rheines und der maas aus der Jüngerer tertiär-und der älteren Diluvialzeit, von P. Tesch (Thèse de doctorat ès sciences techniques). Amsterdam, T. Kastel van Aemstel, 1908; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'École supérieure technique de Delft.*)



BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 138. — Don pour l'École, p. 141. — Candidats présentés pour le renouvellement du Bureau et du Comité, p. 140. — Quelques réflexions au sujet du système électromagnétique (M. Pellat), p. 143. — Méthodes de calcul des projets de traction (M. Parodi), p. 151.

BIBLIOGRAPHIE, p. 192.

OUVRAGES OFFERTS, p. 195.

COMPTE RENDU
DE LA
RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE
du mercredi 3 mars 1909 (1).

PRÉSIDENCE DE M. BRYLINSKI, ANCIEN VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8^h40^m soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

M. BRYLINSKI, appelé à présider la réunion, communique un télégramme de M. Boucherot qui, indisposé, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

(voir p. 195), d'un don pour l'École et des demandes d'admissions suivantes :

MM.

- Baillaud** (Édouard-Benjamin), Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, Directeur de l'Observatoire, à l'Observatoire de Paris. — Présenté par MM. Bouty et H. Fontaine.
- Banti** (Egisto), Ingénieur des *Ateliers Thomson-Houston*, 27, avenue du Maine, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Mix.
- Barré** (Gaston-Émile), Sapeur télégraphiste au Mont-Valérien, 12, rue du Commandant-Dumez, à Arras (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Bruni** (Elvezio), 26, via Vittoria, à Milan (Italie). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Chabrié**, Professeur à la Faculté des Sciences, 83, rue D'infert-Rochereau, à Paris. — Présenté par MM. Bouty et Pellat.
- Constans** (André), Élève à l'*École supérieure d'Électricité*, 32, avenue du Parc-Montsouris, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Eiffel** (Alexandre-Gustave), Ingénieur, 1, rue Rabelais, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et Hillairet.
- Hacart** (Frantz-Octave), Ingénieur électricien à la *Compagnie générale pour l'Éclairage et le Chauffage par le gaz*, 42, rue de Longue-Vie, Bruxelles-Ixelles (Belgique). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Huard** (Marcel), Ingénieur *Maison Fabius-Henrion*, 30, rue de la Salle, à Nancy (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Boucherot et Boreau.
- Le Goff** (Charles-Eugène), Ingénieur, Service électrique aux mines de Liévin, hôtel Leroy, à Liévin (Pas-de-Calais). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Lemaître** (Marcel-Charles-Eugène), Secrétaire du *Service des Ateliers et de l'Entretien à la Compagnie internationale des Wagons-Lits* (Services russes), Chemin de fer de la Baltique, gare de Ligovo, rue Stépanowa (Russie).
- Litschgi** (Charles), Ingénieur de la *Société Brown-Boveri et Cie*, villa Mon-Désir, à Ennet-Baden (Suisse). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Nicol** (Jules-Vincent-Théodore), Ingénieur *E.-S.-E.*, 7, rue de Vaugirard, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Noellet** (Paul-Louis-Henri), Attaché au *Laboratoire central d'Électricité*, 52, avenue Parmentier, à Paris. — Présenté par MM. Janet et F. Laporte.
- Opechowski** (Édouard), Ingénieur à la *Compagnie d'Électricité de Varsovie*, 11, rue Foksal, à Varsovie (Russie). — Présenté par MM. Hannotiaux et Krakowski.
- Pinet** (Étienne), Sous-Ingénieur des canalisations électriques de la *Compagnie O.-T.-L.*, 29, rue de Condé, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Delon et Dumont.
- Poussif** (Georges-Gaston), 103, avenue de la République, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Quiroga** (Patricio), Ingénieur en mission du Gouvernement chilien, 12, rue Blomet, à Paris. — Présenté par MM. Durand et Bourguignon.
- Randier** (Pierre-Antoine), Élève au *Laboratoire central d'Électricité*, 90, rue Saint-Maur, à Paris. — Présenté par MM. Janet et F. Laporte.
- Redon** (Louis-Paul-Marie-Joseph), Capitaine du Génie, *Établissement central du*

MM.

Matériel de la Télégraphie militaire, 3 ter, rue des Rosiers, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Rosier (Marc), 18, boulevard du Temple, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Tirefort (Camillo-Marie-Eugène), Dessinateur au Service électrique de l'*Omniium lyonnais*, 163, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Guéry.

Weiss (Georges), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin, à Paris. — Présenté par MM. Boucherot et Hillairet.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. LE PRÉSIDENT. — « Messieurs, nous avons à déplorer la mort de nos collègues MM. *Ernest Rousseau*, *Georges Pellissier*, *A. Picard*.

» Notre Président, retenu chez lui, ainsi que je vous ai dit, nous communique les lignes suivantes :

» M. E. Rousseau, dont nous n'avons connu que tardivement la mort à Paris, occupait, comme vous savez, une place considérable en Belgique. Il fut le premier Président de la Société belge des Électriciens, pendant les années 1884 et 1885. Professeur de Physique mathématique expérimentale et industrielle, c'est surtout le domaine de l'électricité qu'il affectionnait; on lui doit tout un ensemble de travaux sur les paratonnerres, les unités électriques, la photométrie, les propriétés des réseaux à conducteurs linéaires, la mesure des résistances faibles et beaucoup d'autres sujets de Physique générale. Nature d'élite, doué de hautes qualités morales, c'était un beau vieillard entouré de respect et de sympathies : professeur honoraire à l'Université libre de Bruxelles, professeur émérite à l'École militaire, Président de la Commission de l'Observatoire royal, Président de la Commission des Poids et Mesures, Président de l'École nationale d'Horlogerie, etc.

» M. G. Pellissier, qui était membre de notre Comité d'administration, a été ravi prématurément à l'affection des siens et à notre sympathie. Quoique jeune encore, il était arrivé à se créer une situation enviable dans l'Industrie électrique par la seule vertu de son travail et de ses qualités personnelles. Celles-ci trouvèrent un milieu favorable à leur développement, tout au début de sa

carrière, dans le Laboratoire central d'Électricité, dont il fut un des élèves à l'époque où il venait d'être créé, place Saint-Charles, et dans la rédaction de la *Lumière électrique*, qui a laissé une trace ineffaçable dans l'histoire de l'Électricité, et dont il fut secrétaire pendant quelques années. »

Conformément à l'article 14 du Règlement intérieur, M. le PRÉSIDENT fait connaître à la réunion les noms des candidats que le Comité propose au choix de la Société en vue du renouvellement partiel prescrit par l'article 5 des Statuts; ces noms sont les suivants :

PRÉSIDENT

pour l'exercice 1910-1911 :

Bochet (A.), Ingénieur en chef de la *Maison Harlé et C^{ie}*.

VICE-PRÉSIDENTS :

Armagnat (H.), Ingénieur-conseil.

Brunswick (E.), Ingénieur en chef de la *Maison Bréguet*.

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :

Valbrenze (R. de), Ingénieur électricien.

SECRÉTAIRES :

Bethenod (J.), Ingénieur électricien.

Guéry (F.), Ingénieur électricien.

Mongin (E.), Ingénieur.

MEMBRES :

Abraham (H.), Maître de conférences à l'École Normale supérieure

Broca (D^r), Agrégé de la Faculté de Médecine.

Cellerier, Directeur du laboratoire d'essais au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Chaumat (H.), Sous-directeur de l'École supérieure d'Électricité.

Claude (G.), Ingénieur.

Desrozières (E.), Ingénieur électricien.

Eschwege (P.), Ingénieur civil des Mines.

Fontaine (E.), Secrétaire général du Syndicat professionnel des Usines d'électricité.

Jouaust (R.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.

Jumau (L.), Ingénieur électricien.

Lauriol (P.), Ingénieur en chef des services d'éclairage de la ville de Paris.

Legoux (R.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Meyer (F.), Directeur de la *Compagnie continentale Edison*.

Monmerqué (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Poincaré (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique.

Rey (J.), Associé-gérant de la *Maison Harlé et C^{ie}*.

Tainturier (C.), Directeur de l'usine électrique des Moulineaux.

Vautier (T.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

COMMISSION DES COMPTES POUR 1909 :

Aliamet (M.), Inspecteur chef du Laboratoire électrotechnique du Chemin de fer du Nord.

Boistel (E.), Ingénieur-conseil.

Brocq, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Des remerciements sont adressés à la Maison Bréguet pour le don suivant :

1 dynamo de 10 kilowatts.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

QUELQUES RÉFLEXIONS AU SUJET DU SYSTÈME ÉLECTROMAGNÉTIQUE.

M. PELLAT. — « Après la conférence si intéressante et si brillante que nous a faite M. D. Berthelot dans la dernière séance, il semble qu'il n'y ait plus rien à ajouter sur la question des unités. Pourtant, quoique je sois d'accord avec M. Berthelot sur presque tous les points, je crois qu'il y a lieu d'en dire encore quelques mots pour préciser et simplifier la question. Je vais le faire en vous montrant d'abord sous son vrai jour ce qu'est une quantité de magnétisme.

» On a l'habitude d'établir un parallélisme étroit entre une quantité de magnétisme et une quantité d'électricité. Ce parallélisme est artificiel et n'est pas dans la nature des choses; la raison en est qu'une quantité d'électricité a une réalité physique au même degré qu'une quantité de matière, tandis qu'une quantité de magnétisme n'a aucune réalité physique, n'étant qu'une quantité d'une substance fictive, qu'un intermédiaire mathématique, commode pour évaluer les forces qui s'exercent entre deux circuits parcourus par des courants, ou entre un pareil circuit et un aimant, ou encore entre deux aimants. Permettez-moi d'insister un peu sur ce point fondamental.

» Un corps peut présenter un excès d'une des deux électricités, un excès d'électricité positive, par exemple. Un corps présente toujours autant de magnétisme nord que de magnétisme sud. Rien que ce point constitue un défaut d'analogie considérable entre l'électricité et le magnétisme. On peut transporter un corps électrisé dans un cylindre de Faraday et mesurer l'excès d'électricité positive ou négative qu'il possède, tout comme en transportant un corps sur la balance on peut mesurer sa masse, c'est-à-dire la quantité de matière qu'il renferme. On peut diviser une quantité d'électricité, comme on peut diviser une quantité de matière. Enfin les théories modernes font de l'électron à la fois l'unité primordiale de matière et l'unité primordiale d'électricité : refuser une réalité physique à une quan-

tité d'électricité, ce serait refuser une réalité physique à une quantité de matière.

» Il en va tout autrement d'une quantité de magnétisme. Pour mettre hors de doute ce qu'il y a de fictif dans le magnétisme, supposons que le fer et les autres métaux ferro-magnétiques soient aussi rares sur la Terre que, par exemple, le radium. Avant de connaître les aimants, on aurait connu les actions qu'exercent l'un sur l'autre deux circuits parcourus par des courants. Un génie comme Ampère aurait pu imaginer deux substances fictives, qu'il aurait pu appeler *magnétisme nord* et *magnétisme sud*, afin de définir les feuillets magnétiques et s'en servir pour donner un moyen commode de trouver, par les propriétés qu'il assigne par définition aux quantités de magnétisme, un système de forces équivalent au système des forces électrodynamiques. Si, plus tard, les progrès de la Chimie avaient fait découvrir ce métal rare, le fer, on aurait pu en faire de petits barreaux d'acier, et reconnaître qu'en les plaçant à l'intérieur d'une bobine parcourue par un courant, ils acquéraient la propriété de s'aimanter. Un Ampère aurait reconnu que ces aimants jouissent exactement des mêmes propriétés qu'un faisceau d'un nombre considérable de solénoïdes de section extrêmement petites. On aurait, tout naturellement alors, calculé les actions réciproques des courants et des aimants ou les actions des aimants entre eux en plaçant ces substances fictives, magnétisme nord et magnétisme sud, là où se terminent ces solénoïdes élémentaires des aimants. Il ne serait venu à l'idée de personne alors de considérer les deux magnétismes autrement que comme deux substances fictives, et pourtant nos connaissances à ce sujet en seraient au même point qu'aujourd'hui. Ainsi, vous le voyez, il n'y a qu'à supposer que nos connaissances nous sont parvenues dans un ordre historique inverse, pour qu'il ne puisse subsister aucun doute sur la nature entièrement fictive des quantités de magnétisme.

» Dès lors, nous n'avons pas à nous demander quelle est la relation qui représente exactement les actions de deux quantités de magnétisme l'une sur l'autre, mais bien quelle est la relation qui doit définir les actions de ces substances fictives entre elles pour la plus grande facilité des calculs, ce qui est bien différent.

» On a pris l'habitude depuis quelques années d'écrire les relations qui donnent l'action de deux points électrisés l'un sur l'autre et l'action de deux points chargés de magnétisme sous les formes suivantes :

$$(1) \quad f = \frac{1}{K} \frac{mm'}{r^2},$$

$$(2) \quad f = \frac{1}{\mu} \frac{pp'}{r^2},$$

où K et μ représentent respectivement le pouvoir inducteur spécifique et la perméabilité magnétique du milieu, c'est-à-dire des quantités dépendant essentiellement des propriétés de ce milieu. Il en résulte immédiatement que ces deux relations ne sont applicables directement qu'en milieu homogène. Si, en effet, les deux points électrisés sont dans deux milieux différents de pouvoir inducteur spécifique K_1 et K_2 , quelle valeur faut-il attribuer à K dans la relation ci-dessus : est-ce K_1 ou K_2 ? Évidemment, ce n'est ni l'une ni l'autre : la relation n'est pas applicable directement; ce n'est que par une marche détournée que nous pourrions connaître l'action réelle exercée par un point électrisé sur l'autre. Si l'on remarque, en outre, que Coulomb n'a établi cette relation que par des expériences faites dans l'air, et qu'aucune bonne expérience n'a été faite jusqu'ici pour établir expérimentalement cette relation dans le cas d'un milieu homogène ayant un pouvoir inducteur spécifique différent notablement de celui de l'air, on voit qu'on n'est pas en droit de prendre cette relation comme point de départ *expérimental*. Cette raison, la difficulté de son emploi en milieu hétérogène et d'autres difficultés encore m'ont fait depuis longtemps renoncer à l'employer comme point de départ de l'Électrostatique, et j'ai indiqué, il y a plus de dix ans, une marche expérimentale simple pour établir, sans se servir de cette relation, les formules de l'Électrostatique sous une forme générale, qui les rend applicables aussi bien en milieu hétérogène qu'en milieu homogène. Cette méthode, que j'ai perfectionnée depuis, est celle que j'emploie toujours dans mon Cours à la Sorbonne.

» Pourquoi alors prendre la relation qui définit les propriétés que nous attribuons aux magnétismes sous la forme (2), qui pré-

sente exactement les mêmes difficultés d'application que la relation (1)? C'est compliquer à plaisir la définition des quantités de magnétisme. Je propose, en conséquence, de prendre la relation qui définit les propriétés des quantités de magnétisme sous la forme suivante :

$$(3) \quad f = a \frac{pp'}{r^2},$$

où a est un coefficient constant pour un même système d'unités quel que soit le milieu homogène ou hétérogène. Ce coefficient a est une grandeur qui peut avoir des dimensions, c'est-à-dire qui peut varier d'un système à un autre.

» Il résulte de cette définition des magnétismes que la valeur du champ magnétique, calculée d'après une distribution de magnétisme conforme aux théorèmes d'Ampère, est indépendante de la nature du milieu où l'on considère le champ. Et c'est bien ce qui est admis; par exemple, si l'on dispose à l'intérieur d'une bobine un cylindre d'une substance homogène parallèlement à son axe, si le cylindre et la bobine sont assez longs pour pouvoir être considérés comme de longueur infinie, le champ à l'intérieur du cylindre a pour intensité $4\pi n_i i$, que le cylindre soit en bismuth, en cuivre, en palladium ou en fer.

» Après avoir précisé ainsi les propriétés du magnétisme, il est nécessaire aussi de faire un choix entre les deux définitions qui ont été successivement données de l'*induction magnétique*.

» Je rappelle d'abord la plus ancienne en date, celle qui a été donnée par Maxwell. Si X , Y et Z sont les composantes suivant trois axes de coordonnées du vecteur champ magnétique; A , B et C les composantes suivant les mêmes axes du vecteur aimantation, l'induction magnétique est un vecteur dont les composantes a , b et c suivant ces axes sont données par

$$a = X + 4\pi A, \quad b = Y + 4\pi B, \quad c = Z + 4\pi C.$$

» Cette définition revient à dire que ce vecteur induction magnétique est la résultante du vecteur champ magnétique et d'un vecteur qui ne diffère du vecteur aimantation que parce que l'intensité

a été multipliée par 4π (fig. 1); ce qui peut encore se traduire au moyen des symboles indiquant la somme géométrique de deux vecteurs par

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{J}.$$

Cette relation de définition donne, dans le cas très fréquent où l'aimantation a même direction que le champ,

$$B = H \pm 4\pi J.$$

» On voit qu'avec cette définition de l'induction, une intensité d'induction est, dans tous les systèmes possibles, homogène à une intensité de champ magnétique, et doit, par conséquent, s'exprimer avec la même unité. On voit aussi que le quotient de l'intensité

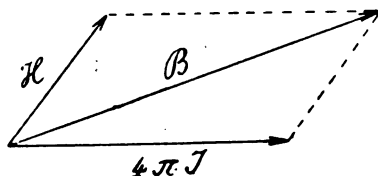


Fig. 1.

d'induction par l'intensité du champ, qui, par définition, est la perméabilité magnétique μ , est une grandeur sans dimension : c'est un même nombre pour une même substance dans tous les systèmes d'unités.

» A cette définition s'en est substituée une autre. Pour que, dans tous les systèmes d'unités, la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique soit donnée par la relation $V^2 = \frac{1}{K\mu}$, on a pris pour l'induction magnétique le vecteur dont l'intensité B permet dans tous les systèmes possibles de représenter l'énergie du champ magnétique contenu dans un volume dV par $dW = \frac{1}{8\pi} B H dV$. Définie ainsi, une intensité d'induction a, en général, des dimensions différentes d'une intensité de champ magnétique, et la perméabilité magnétique μ , qui est le quotient de l'une par l'autre, est une grandeur douée de dimensions.

» Ces deux définitions sont donc bien différentes dans le cas

général. Laquelle choisir? Sans hésitation je préfère la première définition, celle si claire et si simple donnée par Maxwell. Je ferai à la seconde, en effet, deux reproches, l'un d'ordre scientifique, l'autre d'ordre pédagogique. Le premier, c'est que l'on ne définit ainsi que l'intensité du vecteur induction magnétique, sans définir ni son sens ni sa direction; pour le faire il faut en passer par quelque chose d'analogue à la première définition. Alors pourquoi ne pas s'y tenir? Le second est que la démonstration de la relation qui donne l'expression de l'énergie du champ magnétique répandue dans l'espace $dw = \frac{1}{8\pi} \mathfrak{H} \mathfrak{H} dv$ ne se fait pas dans les cours élémentaires, où l'on a pourtant besoin de définir l'induction magnétique pour la question si importante du circuit magnétique. Il y aurait du reste bien à dire sur l'exactitude de la relation

$$dw = \frac{1}{8\pi} \mathfrak{H} \mathfrak{H} dv;$$

comme je l'ai montré, elle ne s'applique pas dans le cas où le champ renferme des corps ferro-magnétiques, et elle a besoin d'être complétée par un terme quand les perméabilités dépendent de la température.

» Nous adopterons donc la définition de Maxwell, qui fait de μ une grandeur toujours sans dimensions. Dans un système quelconque, la relation qui donne la vitesse de propagation d'une onde électromagnétique est alors

$$(4) \quad v^2 = \frac{1}{a K \mu},$$

a étant le coefficient de la relation (3) qui définit les propriétés des magnétismes.

» Cette relation (4) indique les dimensions et la valeur de a dans les divers systèmes. Veut-on avoir le système électrostatique, pour lequel K est une grandeur sans dimensions? Puisque μ est toujours dans le même cas, les dimensions de a sont alors celles de l'inverse du carré d'une vitesse, et la valeur de a est l'inverse du carré de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide ($K = \mu = 1$). Si l'on veut avoir le système électromagnétique, il faut

faire $a = 1$, ce qui donne au pouvoir inducteur spécifique les dimensions de l'inverse du carré d'une vitesse. La formule de définition des propriétés d'une quantité de magnétisme prend alors son maximum de simplicité

$$f = \frac{\rho\rho'}{r^2},$$

et il en est de même pour les autres relations concernant l'électromagnétisme. En adoptant ce système électromagnétique, compliquons-nous les relations de l'Électrostatique? Pas le moins du monde, car toutes ces relations pour être générales doivent contenir le pouvoir inducteur spécifique K qui caractérise le diélectrique dont il s'agit. C'est ainsi que les relations qui donnent l'intensité φ du champ dans un diélectrique à une distance infiniment petite de la surface d'un conducteur, ou la force par unité de surface τ qui s'exerce à la surface du conducteur, ou la relation de Poisson qui donne la densité électrique cubique ρ au moyen de la somme ΔV des trois dérivées secondes du potentiel, s'écrivent

$$K\varphi = 4\pi\sigma, \quad K\tau = 2\pi\sigma^2, \quad K\Delta V = -4\pi\rho.$$

Puisqu'on est toujours obligé d'écrire ce facteur K , et que nous ne pouvons pas le réduire à une valeur constante (l'unité), peu importe que ce facteur soit doué de dimensions.

» Le système électromagnétique nous apparaît ainsi comme le plus simple de tous les systèmes pour l'ensemble des relations de l'Électricité. Nous n'avons pas à en chercher un ni meilleur, ni plus logique.

» Je rappellerai, en terminant, que le système dit *pratique* (ampère, ohm, volt, etc.) est un système électromagnétique dans lequel l'unité de longueur est 10^9 centimètres, l'unité de masse 10^{-11} gramme, et l'unité de temps la seconde. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Pellat de sa très savante et très intéressante Communication, et ajoute :

« Je n'ai pas l'intention, en ce qui me concerne, de discuter ce soir la Communication de M. Pellat, qui mérite d'être mûrement

réfléchie. Le sujet est, à mon sens, trop élevé pour qu'il soit maintenant profitable d'improviser en ce qui le concerne.

» Je désire seulement fixer un petit point d'histoire. J'ai publié, il y a une dizaine d'années, sur les grandeurs magnétiques, un bref travail où j'avais adopté, pour l'induction, la définition de Maxwell; à la suite de cette publication, j'ai reçu de Potier une lettre où il me blâmait d'avoir adopté cette définition, et c'est depuis ce moment que je l'ai abandonnée pour me rallier à l'autre.

» Je suis d'ailleurs entièrement d'accord avec M. Pellat qu'il serait grand temps de choisir l'une ou l'autre de ces deux définitions et de faire cesser la confusion provenant de ce qu'on emploie tantôt l'une et tantôt l'autre sans jamais préciser. »

LES MÉTHODES DE CALCUL DES PROJETS DE TRACTION.

M. PARODI. — « Dans cette étude nous allons passer en revue les différentes méthodes qui ont été employées par l'auteur ⁽¹⁾ pour résoudre soit exactement, soit par approximation, les équations différentielles qui définissent les conditions de marche d'un train sur une ligne de profil connu.

» Dans une première Partie nous indiquerons des procédés d'intégration graphique permettant de construire dans chaque cas particulier les courbes de vitesse, de consommation et d'échauffement, quel que soit le type de moteurs employé.

» Dans une seconde Partie nous indiquerons comment on peut construire un système particulier d'abaques permettant de trouver, presque sans calcul, les principaux éléments de la marche d'un train (vitesse, consommation) dans le cas de moteurs à courants continus ou monophasés à caractéristiques série.

I. — ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES DE FONCTIONNEMENT.

» Les conditions de fonctionnement d'un tracteur quelconque sont définies par un système de trois groupes d'équations différentielles :

- (A) fournissant le premier les relations existant entre les quantités mécaniques ;
- (B) fournissant le deuxième les relations existant entre les quantités électriques ;
- (C) fournissant le troisième les relations existant entre les quantités thermiques.

⁽¹⁾ Les méthodes d'intégration indiquées dans cette étude ont été employées par l'auteur depuis 1900 et elles ont été exposées par lui, depuis 1907, dans une série de conférences faites à l'École d'Électricité industrielle. Les méthodes analytiques et les constructions d'abaques sont exposées ici pour la première fois.

» A. *Équations du mouvement.* — Les équations du mouvement sont

$$M' \frac{dv}{dt} = F_1(v) - F_2(v) - F_3(s),$$

$$v = \frac{ds}{dt},$$

en appelant :

M' la masse d'une tonne de train corrigée de l'inertie des parties tournantes;

$F_1(v)$ l'effort de traction en kilogrammes par tonne produit par les moteurs;

$F_2(v)$ l'effort résistant en kilogrammes par tonne dû à l'air, au roulement;

$F_3(s)$ l'effort résistant en kilogrammes par tonne dû aux pentes et aux courbes.

Cette dernière fonction se réduit à une série de constantes :

$$\begin{array}{l} a_1 \text{ de } s_0 \text{ à } s_1, \\ a_2 \text{ de } s_1 \text{ à } s_2, \\ \dots\dots\dots, \\ a_p \text{ de } s_{p-1} \text{ à } s_p. \end{array}$$

» En représentant par :

$\varphi(v)$ l'accélération motrice;

$\varphi_1(v)$ l'accélération négative due à la résistance de l'air, au roulement, aux frottements.

$\psi(s)$ l'accélération positive ou négative due aux pentes et aux courbes,

ces équations peuvent se mettre sous la forme

$$\gamma = \frac{dv}{dt} = \varphi(v) - \varphi_1(v) - \psi(s) = v \frac{dv}{ds},$$

$$dt = \frac{ds}{v},$$

qui permet de les intégrer immédiatement :

$$s_p - s_{p-1} = \int_{v_{p-1}}^{v_p} \frac{v \, dv}{\varphi(v) - \varphi_1(v) - a_p}, \quad t_p - t_{p-1} = \int_{v_{p-1}}^{v_p} \frac{dv}{\varphi(v) - \varphi_1(v) - a_p}.$$

» B. *Équation de la consommation d'énergie électrique.* — La

puissance étant la dérivée de l'énergie par rapport au temps, on a

$$\frac{dE}{dt} = ei \quad [i = \chi(v)],$$

en appelant i la consommation de courant watté par tonne de train, et $\chi(v)$ la fonction caractéristique du moteur définissant l'intensité en fonction de la vitesse.

» L'énergie dépensée $E = \int ei dt$ est donnée par l'intégrale

$$E_p - E_{p-1} = \int_{v_{p-1}}^{v_p} \frac{\chi(v) dv}{\varphi(v) - \varphi_1(v) - a_p}.$$

» C. *Équations d'échauffement.* — Les équations différentielles de l'échauffement des moteurs peuvent se mettre sous deux formes distinctes, selon qu'on considère chaque moteur comme un bloc ou qu'on considère séparément chaque partie, inducteur ou induit isotherme.

» Dans le premier cas, l'échauffement de l'ensemble du moteur est donné par l'équation

$$Pc \frac{d\theta}{dt} = w - as(\theta - \theta_0),$$

en appelant :

θ_0 la température ambiante;

θ la température du moteur;

w les pertes totales dans le moteur;

Pc , as deux quantités supposées constantes.

» Dans le second cas, les échauffements des conducteurs et de l'induit sont donnés respectivement par les équations

$$P_1 c_1 \frac{d\theta_1}{dt} = w_1 - a_1 s_1 (\theta_1 - \theta_0) - a'_1 s_1 (\theta_1 - \theta_2),$$

$$P_2 c_2 \frac{d\theta_2}{dt} = w_2 - a_2 s_2 (\theta_2 - \theta_0) - a'_2 s_2 (\theta_2 - \theta_1),$$

en appelant :

θ_0 la température ambiante;

θ_1 » de l'induit;

θ_2 » de l'inducteur;

w_1 les pertes dans l'induit;

ω_2 les pertes dans l'inducteur;

$P_c, P, c_1, a_1 s_1, a'_1 s_1, a_2 s_2, a'_2 s_2$ des quantités supposées constantes.

» Ces équations ne pourront être résolues que quand on connaîtra les valeurs de ω , ω_1 ou ω_2 en fonction de t .

II. — INTÉGRATION GRAPHIQUE DES ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES.

A. — Méthode exacte.

» Un parcours quelconque peut être divisé en quatre périodes de marche distinctes : la période de démarrage, la période de marche à pleine tension, la période de marche en vitesse acquise, la période de freinage. En supposant connus les points $O, v_1, v_2, v_3, 0$ représentant les vitesses au commencement et à la fin de chacune de ces périodes, on pourra tracer un diagramme (V) analogue à celui

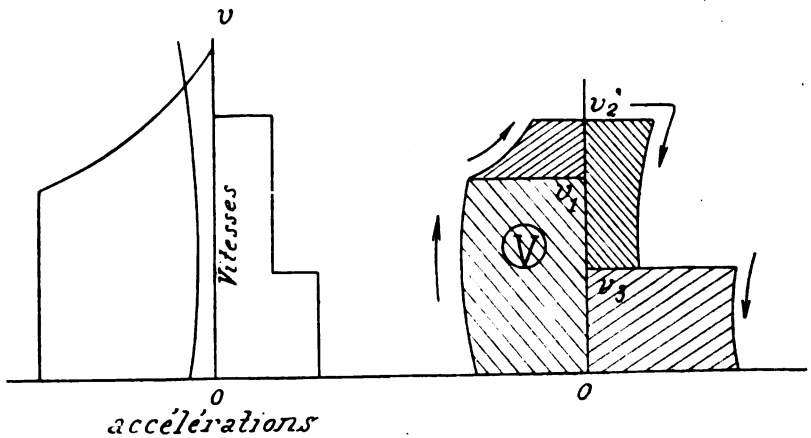


Fig. 1.

représenté ci-contre (*fig. 1*) dans lequel on a porté en abscisses les accélérations et en ordonnées les vitesses.

» Les différentes parties du cycle de marche ont été hachurées de manières différentes.

» Nous supposons provisoirement que $\psi(s)$, accélération due aux pentes et aux courbes, est constante sur tout le parcours.

» Si l'on trace un second diagramme (T) (*fig. 2*) dans lequel on prend comme abscisses à une échelle convenable les inverses des

accélérations résultantes et comme ordonnées les vitesses, on voit

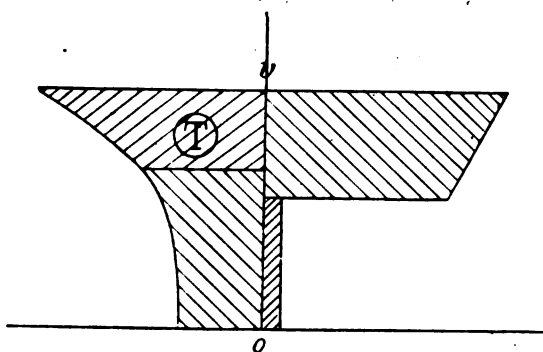


Fig. 2.

que la surface du diagramme représentera la durée du parcours

$$T = \int \frac{1}{\varphi(v) - \varphi_1(v) - \psi(s)}.$$

» De même, si l'on construit un diagramme (S) (fig. 3) en pre-

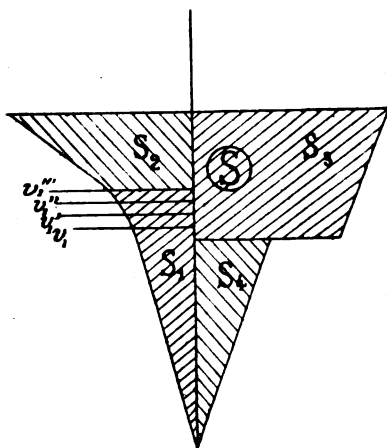


Fig. 3.

nant comme ordonnées les vitesses et comme abscisses les quantités

$$\frac{v}{\psi(v) - \varphi_1(v) - \psi(v)},$$

on voit que la surface du diagramme représentera l'espace parcouru

$$S = \int \frac{v dv}{\varphi(v) - \varphi_1(v) - \psi(v)}.$$

» On simplifiera beaucoup la construction de ces diagrammes en traçant à l'avance (*fig. 4*) un réseau d'hyperboles donnant à

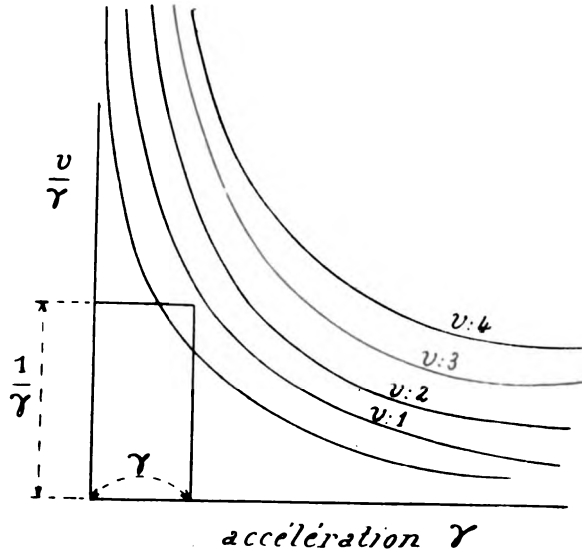


Fig. 4.

l'échelle choisie les longueurs correspondant à $\frac{v}{\gamma}$ pour une série de valeurs de v ,

$$v = 1, \quad v = 2, \quad \dots, \quad v = h.$$

» Si la fonction $\psi(s)$ n'est pas constante, la méthode indiquée peut encore être appliquée, mais en divisant le parcours en intervalles s_{p-1}, s_p dans chacun desquels $\psi(s)$ est constant.

» En prenant sur le diagramme (S) une série de valeurs $v'_1, v''_1, v'''_1, v''''_1, \dots$ voisines de la valeur v_1 inconnue, correspondant exactement à la distance s_1 , on pourra déterminer, par mesure des surfaces, les longueurs $s'_1, s''_1, s'''_1, s''''_1$ correspondant à ces vitesses (*fig. 5*). En traçant la courbe $0v'_1v''_1v'''_1v''''_1\dots$ comme il est indiqué ci-contre, on pourra déterminer v_1 exactement par intersection avec l'ordonnée issue de s_1 . En procédant ainsi de proche en proche et pour chaque valeur v_p, v_{p+1} déterminée, en mesurant les surfaces correspondantes sur les diagrammes (T) et (S), on arrivera à construire exactement les courbes représentant les durées de parcours et les vitesses en fonction des espaces par exemple.

» Cette méthode, qui exige l'emploi de planimètres très précis, est

excessivement longue. Avec les planimètres dont on dispose habituellement, cette méthode, bien que théoriquement exacte, ne

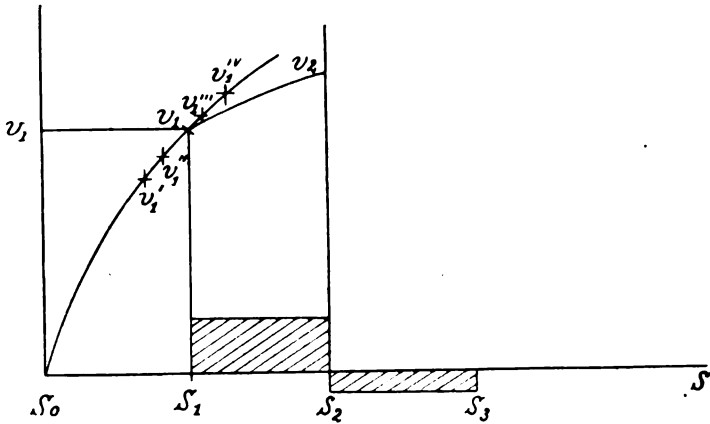


Fig. 5.

donne pas de résultats plus approchés que ceux obtenus par la méthode d'approximation que nous allons indiquer.

B. — Méthode d'approximation.

» La méthode d'approximation que nous allons indiquer permet de construire point par point sur un seul graphique en fonction de la distance :

- » a. La courbe des vitesses;
- » b. La courbe des temps;
- » c. La courbe de consommation d'énergie;
- » d. La courbe d'énergie électrique transformée en chaleur dans les moteurs;
- » e. Les courbes d'échauffement des moteurs ou de chacune de leurs parties.

» a. *Construction de la courbe des vitesses.* — Nous construirons tout d'abord : à gauche de l'épure (fig. 6) dans le cadran VOγ, les courbes représentatives des accélérations $\varphi(v)$ et $\varphi_1(v)$ déduites des caractéristiques du moteur et des courbes de résistance à l'air ou au roulement, et, de part et d'autre de S, les accélérations $\psi(s)$ déduites des indications du profil en long de la ligne.

» Soient A un point de la courbe cherchée correspondant à la distance S; AT la tangente et AN la normale en ce point.

» L'équation du mouvement

$$v \frac{dv}{ds} = \varphi(v) - \varphi_1(v) - \psi(s)$$

peut s'écrire, puisque $v = AS$ et $\tan \alpha = \frac{dv}{ds}$,

$$AS \tan \alpha = \overline{rM} - \overline{vM'} - \overline{SS'} = \overline{MM'} - \overline{SS'} = SN;$$

on voit donc que la courbe cherchée est définie par la propriété

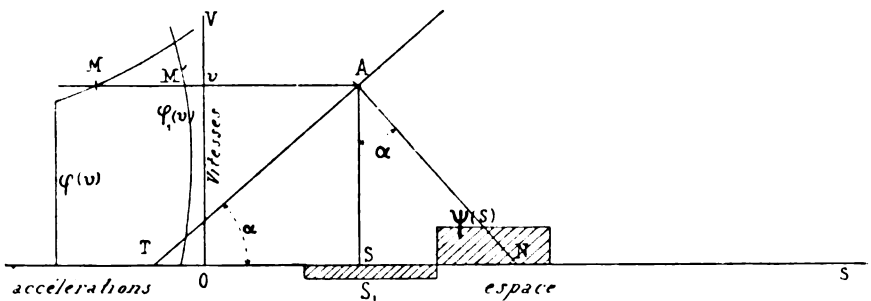


Fig. 6.

géométrique suivante : *La sous-normale à la courbe en un point est égale à l'accélération vraie en ce point.*

» Cette sous-normale est portée à droite de S quand l'accélération est positive à la gauche de S quand l'accélération est négative.

» La courbe peut être construite point par point en confondant, pour une variation très faible de la distance, la courbe avec sa tangente.

» La précision de la construction graphique sera d'autant plus grande que la variation ΔS sera prise plus petite.

» Au point O de départ la tangente est OV, puisque $\tan \alpha = \infty$. On déterminera ainsi (*fig. 7*) une courbe telle que $OP, P_2 \dots P_n$ représentant la vitesse en fonction de l'espace. A partir de l'extrémité opposée S du parcours construisons de la même manière la courbe $SQ_n \dots Q_2 Q_1 P$ représentant la variation de vitesse pendant le freinage.

» Ces deux courbes $OP_2 P, SQP$ se coupent en P. Le parcours OPS est le parcours de vitesse maxima dans des conditions données. En

supposant qu'on coupe le courant en P_1 , P_2 ou P_n on pourra construire toujours de la même manière à partir de chacun de ces points, les courbes P_1Q_1 , P_2Q_2 , ... représentant la variation de vitesse du train sous l'action des seules forces extérieures : résistances à l'air ou au roulement, pentes, courbes, etc. En fin de calcul, on choisira celle de ces courbes P_nQ_n qui correspond à une

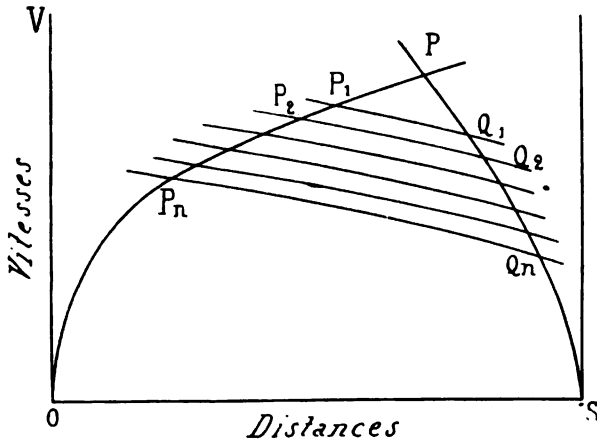


Fig. 7.

durée de marche en vitesse acquise déterminée, par exemple, de manière à ne pas dépasser un échauffement fixé à l'avance dans un parcours complet.

» *b. Construction de la courbe des temps.* — Supposons que, au temps t , l'espace s ait été parcouru ; au bout du temps dt l'espace nouveau franchi Δs sera tel que

$$\frac{ds}{dt} = v \quad \text{ou} \quad dt = \frac{ds}{v},$$

ou encore, en appelant a une longueur fixe dépendant des échelles choisies pour les espaces, les vitesses et les temps,

$$\frac{dt}{a} = \frac{ds}{v}.$$

De A , menons (*fig. 8*) $\tau\tau'$ parallèle à OS et égal à a ; de τ' ainsi obtenu menons une perpendiculaire à BS' , B étant le point correspondant à l'espace S sur la courbe des vitesses. Les deux triangles BSS' et $A'\tau\tau'$ ayant leurs côtés perpendiculaires sont semblables et

l'on a

$$\frac{A'\tau}{\tau\tau'} = \frac{SS'}{BS} \quad \text{ou} \quad \frac{A'\tau}{a} = \frac{ds}{v}.$$

Le point A' est donc bien le point de la courbe cherchée située sur l'ordonnée S'B'.

Pour déterminer la quantité a connaissant les échelles choisies

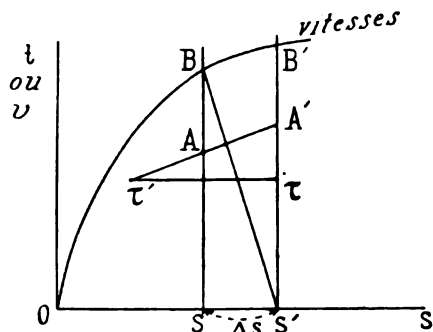


Fig. 8.

arbitrairement pour v , s et t , il suffit de se placer dans un cas particulier.

» Par exemple, supposons que le mobile se déplace à la vitesse constante de V_0 mètres par seconde; au bout du temps T_0 il aura

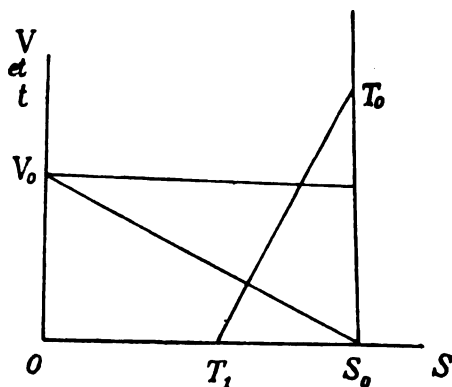


Fig. 9.

parcours l'espace $S_0 = V_0 T_0$. Appliquons le mode de construction précédent en sens inverse : c'est-à-dire menons de T_0 une perpendiculaire $\overline{T_0 T_1}$ à $V_0 S_0$. La longueur $\overline{S_0 T_1}$ sera la longueur a

et menons de W une perpendiculaire $W'A'$ à la ligne BS' ; les deux triangles $WW'A'$ et BSS' ayant leurs côtés perpendiculaires sont semblables, et l'on a

$$\frac{\Delta s}{v} = \frac{A'W}{WW'} = \frac{A'W}{\frac{nei}{P}}; \quad \text{donc} \quad A'W = \Delta E.$$

» Pour déterminer, comme dans le cas du temps, une échelle pour les puissances $\frac{nei}{P}$, cohérente avec les trois échelles choisies

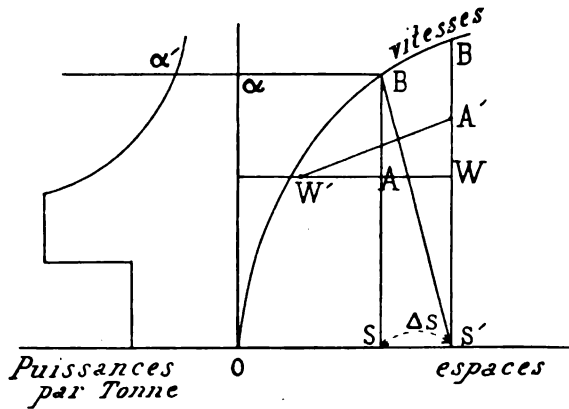


Fig. 11.

arbitrairement pour v , s , E , nous allons nous placer dans un cas particulier : celui du mouvement d'une tonne se déplaçant avec une accélération constante γ de 1 m par seconde, par exemple.

» La courbe de l'énergie est dans ce cas une ligne droite, puisque

$$v = \gamma t,$$

$$s = \frac{1}{2} \gamma t^2,$$

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m \gamma^2 t^2 = m \gamma s.$$

» L'énergie en joules est dans le cas particulier considéré où $\gamma = 1$ m. sec. sec. égale à $\frac{1}{2} 1000 t^2$.

» La puissance $m \gamma t$ en kgm par sec. = $\frac{1000 t}{9,81}$, ou en watts = $1000 t$.

» Répétons (fig. 12) la construction indiquée plus haut pour la distance $s = vt$ et la vitesse $v = t$ dans le cas particulier considéré

où la courbe d'énergie OE n'est autre chose que la droite OAA'. De V menons VS' et du point A' correspondant à l'abscisse S' menons A'W₀ perpendiculaire à VS'; la longueur W₁W₀ représente à l'échelle voulue la puissance en watts : 1000*l*.

» Nous pouvons vérifier que, dans ce cas particulier, on obtient

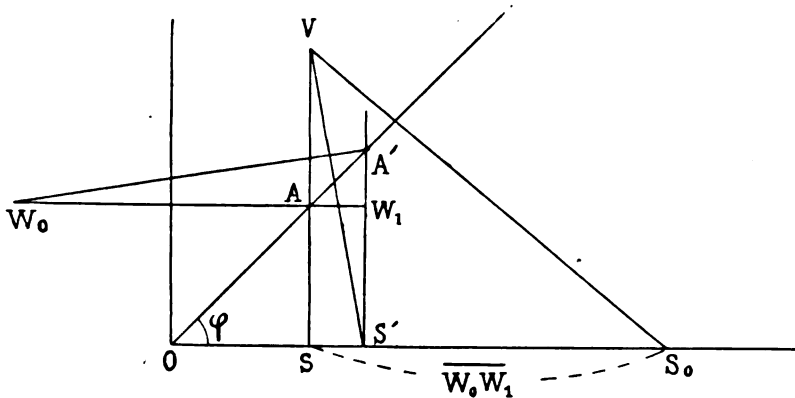


Fig. 12.

bien pour W₀W₁ la même valeur quelle que soit la longueur SS' choisie arbitrairement; remarquons en effet que

$$A'W_1 = \overline{S'S} \tan \varphi;$$

or

$$\frac{\overline{A'W_1}}{\overline{W_1W_0}} = \frac{\overline{SS'}}{\overline{VS}}, \quad \text{donc} \quad \overline{W_1W_0} = \overline{VS} \frac{\overline{A'W_1}}{\overline{SS'}} = \overline{VS} \tan \varphi.$$

» Ceci nous permet de simplifier la construction de $\overline{W_0W_1}$, cette

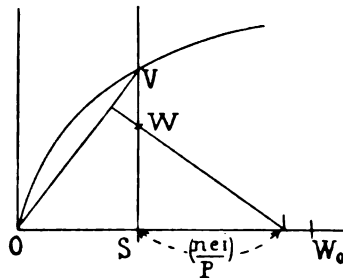


Fig. 13.

longueur s'obtenant directement en menant de V une perpendiculaire à $\overline{OAA'}$, le segment SS₀ intercepté sur l'axe des espaces par cette ligne et l'ordonnée $\overline{SV}$ étant égal à $\overline{VS} \tan \varphi$.

» A l'origine on a

$$\left(\frac{dw}{ds}\right)_0 = \left(\frac{nei}{P} \frac{1}{v}\right)_0;$$

$\frac{nei}{P}$ est fini, $\frac{1}{v} = \infty$, donc la courbe est tangente à l'axe $\overline{OV}$.

» On peut d'ailleurs, comme pour la courbe du temps, déterminer (*fig. 13*) le point W placé sur l'ordonnée VS voisine de O en portant la longueur $\frac{nei}{P}$, à partir de S sur OS, et menant du point W_0 ainsi trouvé la perpendiculaire W_0W à OV.

» *d. Courbe d'énergie dissipée à l'intérieur d'un moteur.* — La quantité d'énergie transformée en chaleur à l'intérieur du moteur dans le parcours se détermine exactement de la même manière que la quantité d'énergie empruntée au réseau, en traçant à la gauche du diagramme (*fig. 14*), au lieu de la courbe de puissance

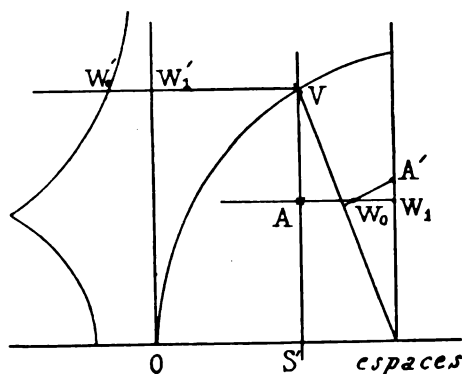


Fig. 14.

du moteur en fonction des vitesses, la courbe des watts perdus dans l'ensemble du moteur. L'échelle des puissances est la même que dans le cas précédent.

» *e. Courbes d'échauffement.* — Si l'on considère chaque moteur comme un bloc isotherme, on devra calculer l'échauffement θ d'après l'équation

$$d\theta = \frac{w}{4169 Pc} - \frac{as}{Pc}(\theta - \theta_0).$$

» Soit A le point représentatif de la température θ du moteur à

la distance S; pour trouver le point A' correspondant à la distance S' voisine de S on portera sur $\overline{A\theta}$ menée parallèlement à OS une longueur $\overline{\tau_0\tau'_0}$ égale à

$$\frac{w}{4169 P_c} - \frac{as}{P_c} (\theta - \theta_0).$$

» La quantité $\frac{w}{4169 P_c}$ est mesurée directement sur la courbe de

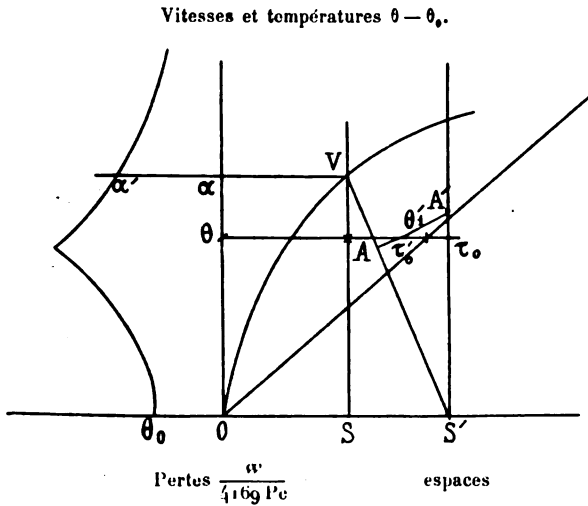


Fig. 15.

perte $\frac{w}{4169 P_c}$ tracée à la gauche de l'épure en fonction des vitesses; la longueur $\frac{as}{P_c} (\theta - \theta_0)$ est égale à $\overline{O\theta'_1}$, si la ligne droite $O\theta'_1$ est inclinée sur $O\theta$, d'un angle tel qu'on ait

$$\tan \varphi = \frac{as}{P_c}.$$

En menant du point τ'_0 une perpendiculaire à VS' , on obtient par intersection avec $S'A'$ le point cherché A'.

» Pour déterminer séparément les échauffements des inducteurs et de l'induit, on se servira des équations

$$d\theta_1 = \frac{w_1}{a_1} - \alpha_1 (\theta_1 - \theta_0) - \beta_1 (\theta_1 - \theta_2),$$

$$d\theta_2 = \frac{w_2}{a_2} - \alpha_2 (\theta_2 - \theta_0) - \beta_2 (\theta_2 - \theta_1).$$

» Si l'on a tracé à gauche de l'épure (fig. 16) les courbes de pertes $\frac{w_1}{a_1}$, $\frac{w_2}{a_2}$, en fonction des vitesses, et les droites $O\alpha$, $O\alpha_1$, $O\beta$, $O\beta_1$, on pourra, en opérant comme dans le cas précédent, déterminer les points θ'_1 , θ'_2 , situés sur l'ordonnée S' quand on connaîtra les points θ_1 , θ_2 situés sur l'ordonnée S voisine de S' .

» En effectuant ces constructions on vérifie que la température s'élève très lentement et que, pour les parcours usuels de faible

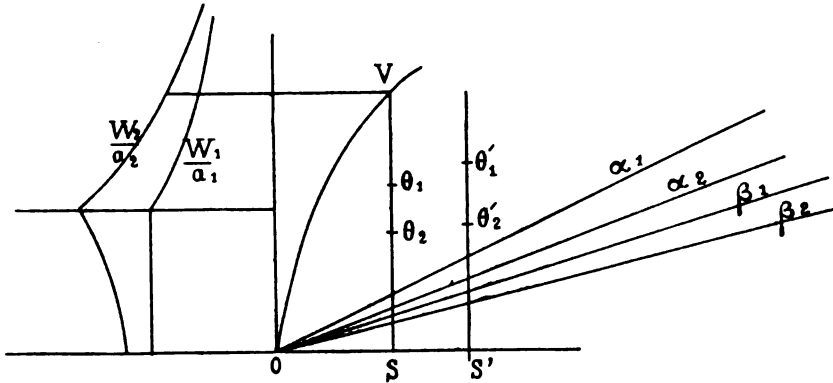


Fig. 16.

durée, l'application des méthodes précédentes est difficile, en raison justement de cette faible augmentation.

» L'échauffement des moteurs en service courant peut se déterminer dans la majorité des cas en utilisant simplement les courbes d'énergie dissipée à l'intérieur des moteurs; ceux-ci étant considérés comme des blocs isothermes, ainsi que nous allons l'indiquer ci-dessous très sommairement. L'équation différentielle

$$Pc d\theta = w dt - as(\theta - \theta_0) dt,$$

intégrée dans l'intervalle du temps t_1, t_2 , donne

$$Pc(\theta_2 - \theta_1) = \int_{t_1}^{t_2} w dt - \int_{t_1}^{t_2} as(\theta - \theta_0) dt.$$

» La surface $\theta_1, \theta_2, \theta'_1$, ou $\int (\theta_1 - \theta_0) dt$, est comprise, si la température est constamment croissante (ce qui est le cas général dans un parcours tant que le courant est maintenu sur le moteur), entre

$$(t_2 - t_1)(\theta_2 - \theta_0) \text{ et } (t_2 - t_1)(\theta_1 - \theta_0);$$

on peut donc écrire

$$\int_{t_1}^{t_2} (\theta - \theta_0) dt = (t_2 - t_1) [\theta_2 - \theta_0 + \lambda(\theta_0 - \theta_1)] = (t_2 - t_1) [(\theta_2 - \theta_1)(1 + \lambda) + \theta_1 - \theta_0],$$

expression dans laquelle λ est une quantité comprise en valeur absolue entre 0 et 1 :

$$Pc(\theta_2 - \theta_1) = \int_{t_1}^{t_2} w dt - as(t_2 - t_1)(\theta_2 - \theta_1)(1 + \lambda) - as(t_2 - t_1)(\theta_1 - \theta_0),$$

d'où

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{\int_{t_1}^{t_2} w dt - as(t_2 - t_1)(\theta_1 - \theta_0)}{Pc + as(t_2 - t_1)(1 + \lambda)}.$$

» Remarquons que pour les moteurs de puissance comprise entre 20 et 250 chx la quantité $\frac{as}{Pc}$ est comprise entre $\frac{1}{3}$ pour les gros mo-

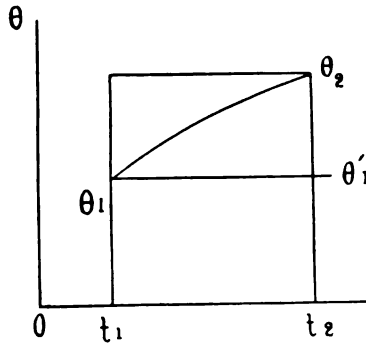


Fig. 17.

teurs et 1,6 pour les petits moteurs (si le temps est exprimé en heures).

» Pour avoir une précision au moins égale à 5 pour 100 dans l'expression de l'échauffement quand on néglige au dénominateur le terme $as(t_2 - t_1)(1 + \lambda)$, il faut que la différence entre les deux valeurs de $(\theta_2 - \theta_1)$ obtenues en faisant dans l'équation λ égal à + 1 et - 1 respectivement soit inférieure à 5 pour 100 de $(\theta_2 - \theta_1)$.

» En faisant le calcul on constate qu'il suffit, pour que cette condition soit remplie, que le temps $t_2 - t_1$ soit inférieur à 10 minutes pour les gros moteurs, à 2 minutes pour les petits moteurs.

» Cela revient à dire que, pour déterminer les échauffements des

moteurs de traction dans tous les cas de la pratique, il suffit d'appliquer la formule trouvée aux parcours entiers, ou à des parties de parcours d'une durée de 2 à 10 minutes suivant la puissance des moteurs.

III. — INTEGRATION ALGÈBRE DES ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES DU MOUVEMENT DANS LE CAS DES MOTEURS CARACTÉRISTIQUES SÉRIE.

» Maintenant que nous possédons une méthode nous permettant de déterminer avec autant d'exactitude que nous le désirons toutes les quantités intéressantes du problème, nous allons rechercher s'il ne serait pas possible de construire une fois pour toutes une série de courbes permettant de trouver presque immédiatement, et sans calcul, les principales quantités cherchées, consommation d'énergie, durée et longueur de parcours.

» M. Armstrong, ingénieur de la General Electric Co, a le premier construit un abaque très intéressant, mais purement cinématique, qui, complété par les courbes de Mac Carter, pourrait être considéré comme une première approximation du problème posé.

» M. Armstrong se place dans le cas où le mouvement du mobile s'effectue à accélération constante dans chacune des trois phases du parcours : démarrage, marche en vitesse acquise, freinage, et il représente sur un diagramme unique toutes les conditions possibles de marche pour un parcours de longueur choisie arbitrairement : par exemple, 1 km.

» En prenant comme abscisses les temps et comme ordonnées les vitesses, la courbe représentative des vitesses se compose de trois tronçons de ligne droite dont les coefficients angulaires sont proportionnels aux accélérations, et la surface du trapèze OV_2T , $\int v dt$, sera égale, à une constante de proportionnalité près, à la longueur du parcours choisie (1 km). Si nous laissons fixes les accélérations négatives γ_2 et γ_3 et, par suite, les inclinaisons des droites $\overline{VV_2}$, $\overline{V_2T}$, à chaque point T, c'est-à-dire à chaque vitesse moyenne de marche, correspondra une série de trapèzes de même surface, ayant tous le côté AT commun, les côtés tels

que $\overline{VV_2}$ parallèles, mais dont les côtés tels que $\overline{OV}$ auront des inclinaisons variables.

» Le lieu des points V de vitesse maxima est une hyperbole qu'on peut construire simplement en remarquant que les lignes droites $\overline{VA}$ et $\overline{OV_2}$ sont parallèles, le point A étant le point de

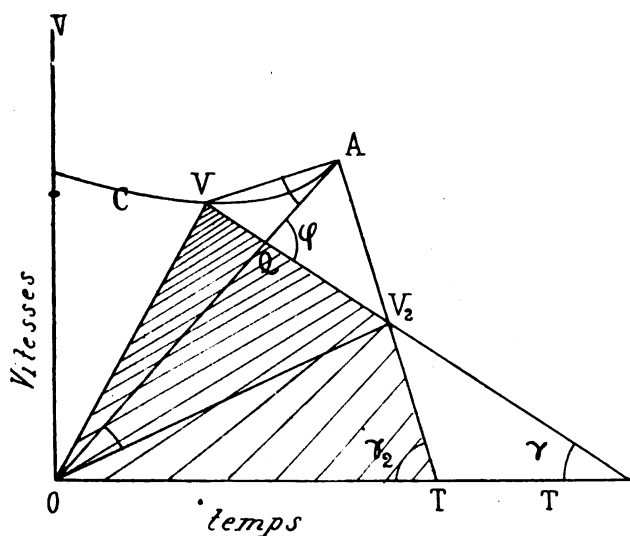


Fig. 18.

vitesse maxima du parcours de forme triangulaire de même surface que OVV_2T et aboutissant en T . Les surfaces OAT et OVV_2T étant équivalentes, il en sera de même des surfaces triangulaires OVa , aAV_2 ; on a donc

$$\overline{Aa} \times \overline{V_2a} \cos \varphi = Va \times Oa \sin \varphi,$$

d'où

$$\frac{Aa}{V_1a} = \frac{Oa}{V_2a}.$$

» Cette dernière égalité exprime la similitude des triangles VaA et OaV_2 et, par suite, l'égalité des angles $\widehat{V_1AO}$ et $\widehat{AOV_2}$; les droites V_1A et OV_2 sont donc bien parallèles. Pour compléter le diagramme, il suffit de tracer (*fig. 19*) le lieu des points tels que A correspondant aux parcours dans lesquels il n'y a pas de marche en vitesse acquise, c'est-à-dire dans lesquels on freine au moment même où l'on coupe le courant.

» Ce lieu est une hyperbole ayant pour équation

$$v_1(v_1 + t_1 \tan \gamma_3) = 2s \tan \gamma_3.$$

» L'abaque de la figure 19 a été tracé en supposant

$$s = 1000 \text{ m.}$$

$$\gamma_3 = 0,7 \text{ m par sec. sec.}$$

$$\gamma_2 = 0,06 \text{ m par sec. sec.}$$

» Pour passer de la longueur 1000 mètres à une longueur quel-

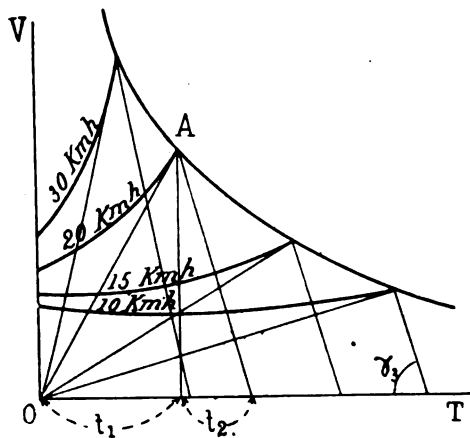


Fig. 19.

conque S exprimée en kilomètres, il suffit de multiplier les éléments du diagramme $s = 1 \text{ km}$, par $\sqrt{S}$.

» Les courbes de consommation en watts-heure par tonne kilométrique correspondant à ces parcours ont été données par M. Armstrong, sous une forme particulière, dans le numéro du 9 janvier 1904 du *Street Railway Journal*.

» M. Armstrong a pris comme variables le nombre d'arrêts par kilomètre (inverse de la longueur du parcours) et la puissance moyenne absorbée; puis il a tracé les courbes représentatives de ces puissances pour différentes valeurs de la vitesse moyenne calculée en supposant l'accélération au démarrage constante et la durée de marche en vitesse acquise proportionnelle à la durée totale de marche.

» Mac Carter a pu représenter par une courbe unique le réseau de courbes de consommation d'Armstrong en prenant comme ordon-

» En traçant une série de courbes analogues à celle calculée par Mac Carter pour différentes valeurs de l'accélération au démarrage on aurait un abaque complet de fonctionnement.

» MM. Parshall et Hobart ont vérifié (*Electric Railway Engineering*, p. 84 et suiv.) la concordance des résultats de Carter et d'Armstrong. Cette concordance s'explique d'ailleurs immédiatement en remarquant que les éléments du diagramme d'Armstrong correspondant à la longueur S de parcours s'obtiennent en multipliant par $\sqrt{S}$ les éléments du diagramme construit pour $S = 1$. D'ailleurs, d'après l'hypothèse faite dans l'établissement du diagramme, la consommation pour une même accélération au démarrage est proportionnelle à la durée d'application du courant.

» Mais ces tentatives de représentation d'ensemble des mouvements de trains tractionnés électriquement sont loin d'avoir le caractère de généralité nécessaire pour permettre des applications pratiques directes. Les innombrables exemples de diagrammes de parcours qu'on trouve dans la littérature technique anglaise et américaine ne sont pas construits de la même manière, et souvent l'absence de renseignements sur les constantes admises dans le calcul empêche d'utiliser convenablement des résultats acquis.

» Nous allons maintenant essayer de coordonner l'ensemble de ces résultats, dont la cohérence n'apparaît pas immédiatement, en raison du nombre considérable de variables que comporte le problème.

» Tout d'abord nous allons rechercher d'une manière générale comment on peut déduire, des résultats obtenus dans le cas de la remorque d'un poids p_0 de train sur une pente λ_0 avec des moteurs munis d'un rapport d'engrenage φ_0 , les résultats qu'on obtiendrait avec les mêmes moteurs munis d'engrenages ayant un rapport de réduction φ , remorquant un poids p de train sur une pente λ .

» Les équations du mouvement sont, dans le premier cas,

$$\frac{dv}{dt} = \varphi(v) - \psi(v) - \lambda_0,$$

$$\frac{dw}{dt} = ci = e\chi(v),$$

en appelant $\varphi(v)$ l'accélération motrice, $\psi(v)$ l'accélération négative

tive due à la résistance de l'air et aux frottements, $\chi(v)$ la fonction représentant l'intensité i du courant par tonne de train (ou $i \cos \varphi$ dans le cas des moteurs monophasés) en fonction de la vitesse.

» Dans le second cas, les équations seront

$$\frac{dv'}{dt} = \varphi_1(v') - \psi(v') - \lambda,$$

$$\frac{dw'}{dt} = ei' = e\chi_1(v').$$

» Si nous considérons les valeurs de $v, v', \varphi(v), \varphi(v')$ correspondant à une même valeur de l'intensité dans les moteurs, on aura

$$\rho v' = \rho_0 v,$$

$$\frac{\rho \varphi_1(v')}{\rho} = \frac{\rho_0 \varphi(v)}{\rho_0},$$

$$\rho \chi_1(v') = \rho_0 \chi(v).$$

» Les nouvelles équations s'écrivent donc

$$\frac{dv'}{dt} = \frac{\rho \rho_0}{\rho_0 \rho} \varphi\left(\frac{\rho v'}{\rho_0}\right) - \psi(v') - \lambda,$$

$$\frac{dw}{dt} = e \frac{\rho_0}{\rho} \chi\left(\frac{\rho v'}{\rho_0}\right),$$

et les valeurs de t, s, w , temps, espace et énergie dépensée correspondant aux différentes phases du parcours, seront les suivantes en supposant que $\psi(v)$ se réduise à une constante λ_0 .

» *Démarrage* (à intensité constante dans les moteurs depuis la vitesse $v = 0$ jusqu'à la vitesse $v = v_1$) :

$$t_1 = \frac{\rho \rho_0^2}{\rho_0 \rho^2} \frac{\frac{\rho}{\rho_0} v_1}{\varphi\left(v_1 \frac{\rho}{\rho_0}\right) - (\lambda + \lambda_0) \frac{\rho \rho_0}{\rho \rho_0}}, \quad s_1 = \frac{\rho \rho_0^3}{\rho_0 \rho^3} \frac{\left(\frac{\rho}{\rho_0} v_1\right)^2}{2 \varphi\left(v_1 \frac{\rho}{\rho_0}\right) - (\lambda + \lambda_0) \frac{\rho \rho_0}{\rho \rho_0}},$$

$$w_1 = \frac{3}{4} e i_0 \frac{\rho \rho_0^2}{\rho_0 \rho^2} \frac{\frac{\rho}{\rho_0} v_1}{\varphi\left(v_1 \frac{\rho}{\rho_0}\right) - (\lambda + \lambda_0) \frac{\rho \rho_0}{\rho \rho_0}}.$$

» *Marche à pleine tension :*

$$t_2 = \frac{P \rho_0^2}{P_0 \rho^2} \int_{\frac{\rho \nu_1}{\rho_0}}^{\frac{\rho \nu_2}{\rho_0}} \frac{du}{\varphi(u) - (\lambda + \lambda_0) \frac{P \rho_0}{\rho P_0}}, \quad s_2 = \frac{P \rho_0^3}{P_0 \rho^3} \int_{\frac{\rho \nu_1}{\rho_0}}^{\frac{\rho \nu_2}{\rho_0}} \frac{u du}{\varphi(u) - (\lambda + \lambda_0) \frac{P \rho_0}{\rho P_0}},$$

$$w_2 = e^{\frac{\rho_0^2}{\rho^2}} \int_{\frac{\rho \nu_1}{\rho_0}}^{\frac{\rho \nu_2}{\rho_0}} \frac{\chi(u) du}{\varphi(u) - (\lambda + \lambda_0) \frac{P \rho_0}{\rho P_0}}.$$

» *Marche en vitesse acquise :*

$$t_3 = \frac{\nu_2 - \nu_3}{\lambda + \lambda_0}, \quad s_3 = \frac{\nu_2^2 - \nu_3^2}{2(\lambda + \lambda_0)}, \quad w_3 = 0.$$

» *Freinage :*

$$t_4 = \frac{\nu_3}{f}, \quad s_4 = \frac{\nu_3^2}{2f}, \quad w_4 = 0.$$

» Ces équations nous montrent qu'il serait possible de construire

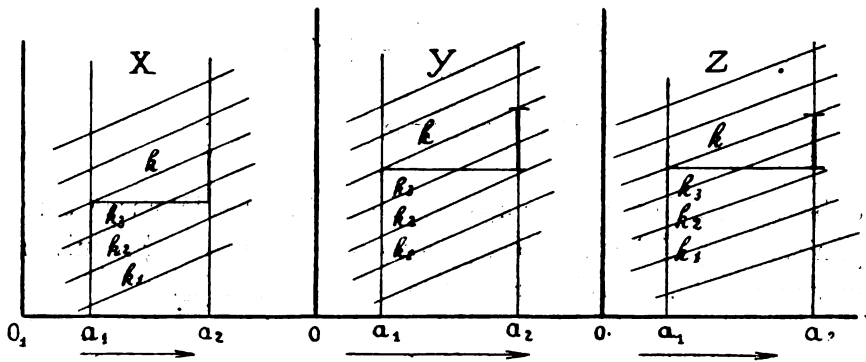


Fig. 22.

pour un moteur quelconque un triple réseau de courbes

$$X = \int_{a_1}^{a_2} \frac{du}{\varphi(u) - k}, \quad Y = \int_{a_1}^{a_2} \frac{u du}{\varphi(u) - k}, \quad Z = \int_{a_1}^{a_2} \frac{\chi(u) du}{\varphi(u) - k},$$

donnant les valeurs de t_2 , s_2 , w_2 correspondant aux deux limites de vitesses a_1 , a_2 .

» La connaissance de ces quantités t_2 , s_2 , w_2 permettrait de

trouver presque immédiatement les valeurs correspondantes de T , S , W :

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4,$$

$$S = s_1 + s_2 + s_3 + s_4,$$

$$W = w_1 + w_2 + 0 + 0.$$

» Mais on peut aller beaucoup plus loin et montrer que, dans le cas des moteurs à caractéristiques série (moteurs série à courant continu ou monophasé), les mêmes réseaux de courbes X , Y , Z permettent de calculer les valeurs du temps, de l'espace et de l'énergie pour un moteur quelconque de ce type à caractéristiques série.

» Remarquons tout d'abord que les caractéristiques d'un moteur de traction, $\varphi(v)$ et $\chi(v)$, ne sont pas des courbes complètement définies, pas plus au point de vue physique qu'au point de vue analytique; quand on adopte pour le calcul d'un projet de traction un groupe de courbes $\varphi(v)$ et $\chi(v)$, on commet toujours une erreur assez importante qui résulte des principales causes suivantes :

» *a. Irrégularité de construction.* — Avec des moteurs semblables faisant partie d'un même lot de construction, il n'est pas rare de constater des différences de 2 et 3 pour 100 entre des caractéristiques relevées dans les mêmes conditions, même dans le cas de moteurs de fabrication très soignée.

» *b. Variations de température.* — La température d'un moteur varie constamment non seulement d'un bloc pour ainsi dire aux différentes heures de la journée, mais aussi d'une façon spéciale dans chacune de ses parties; la variation globale dépend principalement de la température ambiante et de la charge moyenne du moteur; la variation spéciale dépend du rapport des pertes entre l'inducteur et l'induit. Comme on ne connaît pas exactement, *a priori*, les températures de fonctionnement des différentes parties des moteurs dans les conditions de service étudiées, on commet une erreur qui est souvent de l'ordre de 3 à 4 pour 100 en adoptant un tracé de caractéristique correspondant à une même température T pour l'induit et l'inducteur.

» *c. Variations du diamètre des roues motrices.* — L'usure des

bandages réduit progressivement le diamètre des roues motrices. L'usure étant habituellement limitée de 3 à 3,5 pour 100 du diamètre, des différences de vitesses linéaires à la jante des roues de 6 à 7 pour 100 se produiront pour une même valeur de l'intensité dans les moteurs ou pour une même vitesse de rotation de l'induit. Cette variation du diamètre est équivalente, au point de vue de la déformation des caractéristiques, à une variation de même ordre du rapport d'engrenage.

» *d. Inexactitude des appareils de mesure et incertitude des lectures.*

— Les mesures de vitesse, d'intensité et de tension sont effectuées avec des appareils industriels et, en général, dans des conditions ne permettant pas de prendre toutes les garanties voulues pour faire même des lectures exactes au $\frac{1}{100}$ près; des différences de 3 à 4 pour 100 sont constatées quand on change d'appareils de mesure et d'expérimentateur.

» *e. Variation de la tension d'alimentation.* — Dans le calcul d'un projet de traction on admet, bien entendu, qu'une tension constante est maintenue aux bornes des appareils de prise de courant des tracteurs, mais en pratique la tension d'alimentation est très variable et il est nécessaire d'admettre une variation minimum de 10 pour 100 de la tension. Des variations de tension entraînant des variations sensiblement proportionnelles de la vitesse, on voit qu'en faisant choix de caractéristiques relevées par exemple à la tension moyenne d'alimentation on se place dans des conditions pouvant différer de ± 5 à 10 pour 100 de celles réalisées en pratique.

» En résumé donc, quand on prend pour base d'un calcul un système de caractéristiques relevées dans les meilleures conditions industrielles possibles, à la tension moyenne d'alimentation, on n'est pas certain d'avoir des caractéristiques qui ne diffèrent pas de plus de 5 à 10 pour 100 des caractéristiques des tracteurs en service courant.

» Si l'on examine maintenant ces caractéristiques expérimentales, qui ont toutes des formes très voisines, on constate qu'on peut assimiler, avec une erreur inférieure à 5 pour 100, à des hyperboles équilatères, tout au moins dans la partie utile de ces courbes,

les courbes de couple et d'intensité en fonction des vitesses.

» Posons

$$\text{accélération : } \gamma = \varphi(v) = \frac{\alpha_0}{v - \mu_0} - \gamma_0,$$

$$\text{intensité : } I = \gamma(v) = \frac{n_0}{v - \mu_0}$$

ou

$$I(v - \mu_0) = n_0,$$

$$\gamma = \frac{\alpha_0}{n_0} \left(I - \frac{n_0}{\alpha_0} \gamma_0 \right).$$

La légitimité de cette assimilation peut se vérifier très facilement sur les courbes normales de fonctionnement des moteurs de traction donnant en fonction de l'intensité les valeurs des vitesses et des efforts de traction.

» Sous cette forme nous voyons que nous assimilons la courbe des efforts à une ligne droite et la courbe des vitesses à une hyperbole équilatère ayant l'axe OV comme asymptote (*fig. 23*).

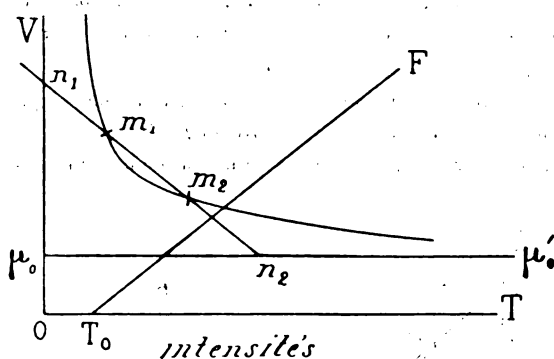


Fig. 23.

» Il est facile de se rendre compte de l'erreur commise en construisant graphiquement l'hyperbole équilatère définie par les deux points m_1, m_2 par exemple ⁽¹⁾.

» Nous avons effectué cette vérification sur une cinquantaine de caractéristiques de moteurs de traction, à courant continu et monophasé, de puissance variant de 20 chx à 500 chx, et, dans tous les

(1) Le problème géométrique à résoudre est le suivant : Construire une hyperbole

» Les fonctions $\varphi(v)$ et $\psi(v)$ se transforment en

$$(II) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi(v) - \lambda = \frac{\frac{p_0}{p} \alpha}{v - \mu_0 \frac{\rho_0}{\rho}} - \left(\lambda + \gamma_0 \frac{\rho}{\rho_0 p} \right), \\ \chi(v) = \frac{n_0 \frac{p \rho_0}{p_0 \rho}}{v - \mu_0 \frac{\rho_0}{\rho}}. \end{array} \right.$$

» Nous constatons que les fonctions ont conservé, après le changement, la même forme algébrique.

» Si donc nous voulons calculer un projet de traction avec un autre moteur sur un profil de pente et de courbure constantes, mais quelconques, nous aurons à résoudre les mêmes équations différentielles que précédemment, mais avec des caractéristiques nouvelles de la forme

$$(III) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi'(v) \lambda = \frac{\alpha'_0}{v - \mu'_0} - \gamma'_0, \\ \chi'(v) = \frac{n'_0}{v - \mu'_0}. \end{array} \right.$$

» Nous voyons que nous pourrions toujours choisir les quantités p, ρ, λ de manière à identifier la première équation du système (III) avec l'équation correspondante du système (II) :

$$(IV) \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha'_0 = \alpha_0 \frac{p_0}{p}, \\ \mu'_0 = \mu_0 \frac{\rho_0}{\rho}, \\ \gamma'_0 = \lambda + \gamma_0 \frac{\rho p_0}{p \rho_0}. \end{array} \right.$$

» Si les quantités λ, ρ, p satisfont aux équations (IV), on voit que les fonctions $\chi(v)$ et $\chi'(v)$ ne diffèrent que par un facteur constant de proportionnalité

$$\frac{n'_0}{n_0} \frac{\mu'_0 \alpha_0}{\mu_0 \alpha'_0}.$$

On voit donc que, pour calculer les éléments d'un projet de traction pour un moteur quelconque à caractéristiques série, on pourra uti-

liser les réseaux de courbes X, Y, Z construits pour un moteur particulier.

» Les réseaux X et Y fourniront, par lecture directe, les valeurs exactes du temps et de l'espace correspondant à la marche à pleine tension, le réseau Z donnera la valeur de la consommation à une constante près.

» En résumé, puisqu'on peut par un changement convenable, défini par les variables λ , p , ρ , faire coïncider les caractéristiques de tous les moteurs de traction des types considérés, quand on aura étudié un moteur particulier dans toutes les conditions possibles de fonctionnement on aura, par le fait même, étudié le fonctionnement de tous les moteurs possibles, dans toutes les conditions possibles.

» C'est en opérant comme nous venons de le faire qu'on peut mettre de l'ordre dans les nombreux résultats publiés jusqu'à ce jour en Angleterre, en Amérique et en Allemagne et établir leur concordance approximative.

» La méthode que nous venons d'indiquer serait d'un emploi assez compliqué, le nombre de paramètres conservé étant encore considérable; nous allons exposer maintenant de quelle manière les équations peuvent être résolues simplement en vue d'un calcul pratique.

CONSTRUCTION DES ABAQUES DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR DE TRACTION A CARACTÉRISTIQUES DE TYPE SÉRIE.

» L'étude précédente nous a montré qu'on pouvait remplacer les caractéristiques d'un moteur de traction quelconque par un système de deux courbes définies analytiquement et contenant quatre paramètres

$$\lambda, \frac{p}{p_0}, \frac{\rho}{\rho_0}, \frac{n}{n_0}.$$

» Mais ces paramètres ne représentent pas des quantités physiques dont les valeurs soient fournies directement par le tracé des caractéristiques, et pour les déterminer il faudrait effectuer une série de calculs qui peuvent être évités en choisissant des paramètres naturels, pour ainsi dire.

» Reportons-nous aux équations précédemment écrites :

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{moteur}} &= \varphi(v) = \frac{\alpha_0}{v - \mu_0} - \gamma_0, \\ I &= \chi(v) = \frac{n_0}{v - \mu_0}, \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{\alpha_0}{v - \mu_0} - \gamma_0 - \lambda_0 = \frac{\alpha_0}{v - \mu} - \lambda, \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{en_0}{v - \mu_0} = \frac{en_0}{\alpha_0} (\gamma_m + \gamma_0),\end{aligned}$$

dans lesquelles λ_0 représente la retardation supposée constante due à l'air, au roulement, à la pente et à la courbure.

» Ces équations peuvent être complètement intégrées, et les résultats obtenus, toutes réductions faites, sont les suivants :

$$\begin{aligned}T &= \frac{v_1(v_1 - \mu)}{\alpha + \lambda\mu - \lambda v_1} + \frac{v_1 - v_2}{\lambda} + \frac{\alpha}{\lambda^2} L \frac{v_1 - \left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda}\right)}{v_2 - \left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda}\right)} + \frac{v_3 - v_2}{\gamma_a} + \frac{v_3}{\gamma_f}, \\ S &= \frac{v_1^2(v_1 - \mu)}{2(\alpha + \lambda\mu - \lambda v_1)} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2\lambda} + \frac{\alpha(v_1 - v)}{\lambda^2} \\ &\quad + \frac{\alpha\left(\frac{\alpha}{\lambda} + \mu\right)}{\lambda^2} L \frac{v_1 - \left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda}\right)}{v_2 - \left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda}\right)} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2\gamma_a} + \frac{v_3^2}{2\gamma_f}, \\ W &= \frac{3}{4} \frac{env_1}{\lambda\left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda} - v_1\right)} + \frac{en}{\lambda} L \frac{v_1 - \left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda}\right)}{v_2 - \left(\mu + \frac{\alpha}{\lambda}\right)}.\end{aligned}$$

» Posons

$$\begin{aligned}\mu + \frac{\alpha}{\lambda} &= V, \quad T_0 = \frac{v_1(v_1 - \mu)}{(V - v_1)\lambda}, \quad S_0 = \frac{v_1^2(v_1 - \mu)}{2\lambda(V - v_1)}, \quad W_0 = \frac{3}{4} \frac{env_1}{(V - v_1)\lambda}, \\ (T - T_0)\lambda &= v_1 - v_2 + (V - \mu)L \frac{V - v_1}{V - v_2} + \frac{v_3 - v_2}{\gamma_a} + \frac{v_3}{\gamma_f}, \\ (S - S_0)\lambda &= \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (V - \mu)(v_1 - v_2) + L(V - \mu)L \frac{V - v_1}{V - v_2} + \frac{v_3^2 - v_2^2}{2\gamma_a} + \frac{v_3^2}{2\gamma_f}, \\ (W - W_0)\lambda &= enL \frac{V - v_1}{V - v_2}.\end{aligned}$$

» On voit que les quantités W_0 , S_0 , T_0 correspondent au cas d'un parcours dans lequel on coupe le courant à la fin du démarrage

» Après quelques tâtonnements effectués en répétant la construction indiquée pour différentes sécantes à la courbe, on arrivera à déterminer une ligne $\mu_0 \mu'_0$ telle que l'hyperbole équilatère ayant $\mu_0 \mu'_0, \gamma_0 \gamma'_0$ comme asymptotes et passant par le point A, par exemple, se confonde très sensiblement avec la caractéristique expérimentale.

» Nous compléterons le diagramme en traçant les lignes $\lambda_0 \lambda'_0$ et $A_0 A'_0$ représentant : l'une, la retardation due à l'air, au roulement, aux pentes et courbes; l'autre, l'accélération motrice pendant le démarrage.

» Les différents paramètres v_1, V, μ, λ figurant dans les équations du mouvement apparaissent alors immédiatement sur la figure :

v_1 est la vitesse correspondant au point A;

V est la vitesse maxima pouvant être atteinte dans le parcours; elle correspond au point B, intersection de la courbe des vitesses avec la ligne $\lambda_0 \lambda'_0$;

λ est l'accélération $(\lambda_0 + \gamma_0)$ représentée par la distance des deux lignes droites $\lambda_0 \lambda'_0, \gamma_0 \gamma'_0$;

μ est la vitesse correspondant à l'asymptote $\mu_0 \mu'_0$;

γ_a est la retardation due à l'air, au roulement, à la pente et à la courbe; elle est représentée par λ_0 ;

Enfin γ_f est la retardation due au freinage qui est donnée.

» Remarquons maintenant que la durée de la marche en vitesse acquise $\frac{v_3 - v_2}{\lambda_0}$ est une quantité absolument arbitraire, qu'on peut choisir comme on veut : durée supplémentaire que l'on s'accorde dans l'établissement d'un horaire pour compenser les pertes de temps accidentelles, inévitables dans une exploitation pratique.

» Au point de vue du calcul d'un projet de traction, il convient de supposer cette durée nulle, $v_3 = v_2$, et de faire le calcul complet dans cette hypothèse. Une fois le calcul achevé, on pourra détendre la marche en allouant pour le parcours total T une durée supplémentaire de 0,10 ou 0,15 T . Mais, par mesure de sécurité, on conservera, pour la nouvelle vitesse moyenne de marche correspondant à cette allocation de temps supplémentaire, la valeur de la consommation en watts-heure par tonne-kilomètre calculée dans l'hypothèse $v_3 = v_2$.

» Rien n'empêche d'ailleurs, si on le désire, de faire le calcul

exactement, en tenant compte des termes

$$\frac{v_3 - v_2}{\lambda_0}, \quad \frac{v_3}{\gamma_f},$$

$$\frac{v_3^2 - v_2^2}{2\lambda_0}, \quad \frac{v_3^2}{2\gamma_f};$$

mais comme cette addition n'entraîne qu'un calcul très simple, nous nous bornerons à montrer comment on peut déterminer et utiliser les abaques représentant les quantités τ , σ , W définies par les équations

$$(III) \quad \begin{cases} (\tau - T_0)\lambda = v_1 - v_2 + (V - \mu)L \frac{V - v_1}{V - v_2}, \\ (\sigma - S_0)\lambda = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (V - \mu)(v_1 - v_2) + V(V - \mu)L \frac{V - v_1}{V - v_2}, \\ (W - W_0)\lambda = enL \frac{V - v_1}{V - v_2}. \end{cases}$$

» Posant

$$\frac{\lambda W}{en} = x, \quad \frac{3}{4} \frac{v_1}{V - v_2} = x_0 = \frac{W_0 \lambda}{en},$$

les équations (III) peuvent s'écrire (1)

$$(IV) \quad \begin{cases} (\tau - T_0)\lambda = (V - \mu)(x - x_0) + (V - v_1)(e^{-(x-x_0)} - 1), \\ (\sigma - S_0)\lambda = (V - \mu)[V(x - x_0) + (V - v_1)(e^{-(x-x_0)} - 1)] \\ \quad + (V - v_1) \left[\frac{V + v_1}{2}(e^{-(x-x_0)} - 1) - \frac{V - v_1}{2}(e^{-2(x-x_0)} - e^{-(x-x_0)}) \right], \\ W - W_0 = \frac{en}{\lambda}(x - x_0). \end{cases}$$

(1) Les calculs développés sont les suivants :

$$(x - x_0) = L \frac{V - v_1}{V - v_2},$$

$$v = V - (V - v_1)e^{-(x-x_0)},$$

$$v - v_1 = (V - v_1)(1 - e^{-(x-x_0)}),$$

$$v - v_1 = V - v_1 - (V - v_1)e^{-(x-x_0)},$$

$$(\sigma - S_0)\lambda = (V - \mu)(V - v_1) \left[e^{-(x-x_0)} - 1 \right] - \frac{(V - v_1)^2}{2} e^{-(x-x_0)}(e^{-(x-x_0)} - 1)$$

$$+ V(V - \mu)(x - x_0) + \frac{V^2 - v_1^2}{2}(e^{-(x-x_0)} - 1)$$

$$= (V - \mu)[V(x - x_0) + (V - v_1)(e^{-(x-x_0)} - 1)]$$

$$+ (V - v_1) \left[\frac{V + v_1}{2}(e^{-(x-x_0)} - 1) - \frac{V - v_1}{2} e^{-(x-x_0)}(e^{-(x-x_0)} - 1) \right].$$

» *Abaque de l'équation*

$$(\tau - T_0)\lambda = (V - \mu)(x - x_0) + (V - v_1)(e^{-(x-x_0)} - 1).$$

Traçons sur un plan fixe (1) les deux réseaux de courbes (fig. 26 et 27)

$$Z_k = k(x - x_0),$$

$$Y_k = k(1 - e^{-(x-x_0)}),$$

en prenant comme abscisses les quantités $x - x_0$ et comme ordon-

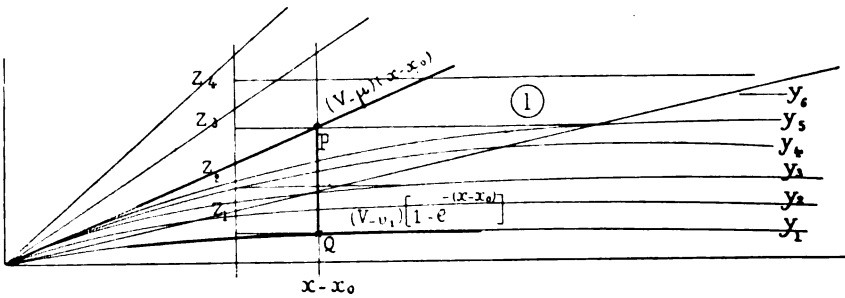


Fig. 26.

nées les quantités Z_k ou Y_k , puis en donnant à k toutes les valeurs possibles 0,1; 0,2; 0,3; ...; 4; 5; 7.

» Le réseau de courbes $Z = k(x - x_0)$ est constitué par une série de droites issues de l'origine et le réseau de courbes $Z = k(1 - e^{-(x-x_0)})$

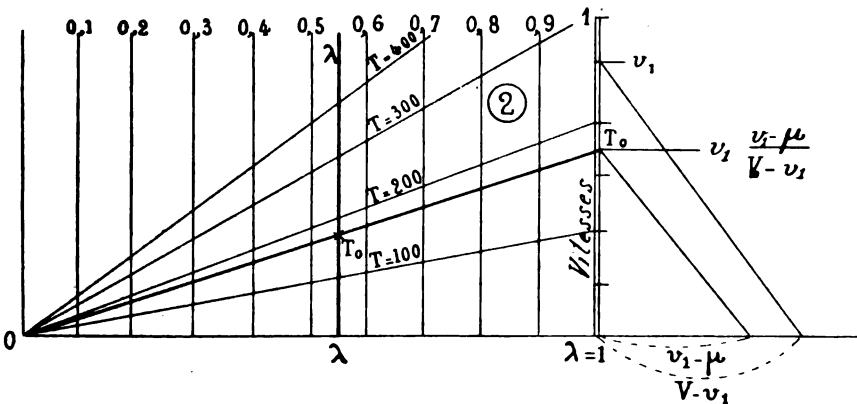


Fig. 27.

est constitué par une série de courbes logarithmiques convergeant également à l'origine.

» Traçons sur un transparent mobile (2) deux réseaux de courbes

formés l'un de droites issues de l'origine $T = k\lambda$, l'autre de droites parallèles à l'axe des ordonnées $\lambda = k$.

» A la droite du diagramme construisons sur la ligne $\lambda = 1$ une échelle de vitesse telle que pour une accélération $\lambda = 1$ à la ligne $T = N$ secondes corresponde une vitesse de N mètres par seconde ; prenons à cette échelle la vitesse v_1 et réduisons-la dans le rapport $\frac{v_1 - \mu}{V - v_1}$.

» La ligne OT_0 représentera le temps T_0 figurant dans l'équation.

» Si alors on mesure la longueur PQ du diagramme (1) limitée sur l'ordonnée $x - x_0$ par les courbes

$$Z = (V - \mu)(x - x_0) \quad \text{et} \quad Z = (V - v_1)(1 - e^{-(x-x_0)})$$

au moyen du transparent (2), en faisant coïncider T_0 avec Q et la direction λT_0 avec PQ, on lira sur le transparent la valeur τ donnée par l'équation

$$(\tau - T_0)\lambda = (V - \mu)(x - x_0) + (V - v_1)(e^{-(x-x_0)} - 1).$$

» En déplaçant le transparent (2) parallèlement à lui-même sur le réseau (1), on pourra trouver autant de valeurs correspondantes de τ et de $(x - x_0)$ qu'on voudra.

» *Abaque de l'équation* (fig. 28 et 29)

$$(\sigma - S_0)\lambda = (V - \mu)[V(x - x_0) + (V - v_1)(e^{-(x-x_0)} - 1)] \\ + (V - v_1) \left[\frac{(V + v_1)}{2}(e^{-(x-x_0)} - 1) - \frac{V - v_1}{2}e^{-(x-x_0)}(e^{-(x-x_0)} - 1) \right].$$

— Traçons sur un plan fixe (1) les deux réseaux de deux courbes suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Réseau A} & \begin{cases} Z_k = k(x - x_0), \\ Y_k = k(1 - e^{-(x-x_0)}), \end{cases} \\ \text{Réseau B} & \begin{cases} Z_k = k(1 - e^{-(x-x_0)}), \\ Y_k = ke^{-(x-x_0)}(1 - e^{-(x-x_0)}). \end{cases} \end{aligned}$$

» Les segments de droite PQ, P'Q' de ce diagramme (1) limités sur l'ordonnée $x - x_0$:

PQ sur le réseau A par les courbes

$$Z = V(x - x_0) \quad \text{et} \quad Z = (V - v_1)(1 - e^{-(x-x_0)}),$$

P'Q' sur le réseau B par les courbes

$$Z = \frac{V + v_1}{2} (1 - e^{-(x-x_0)}) \quad \text{et} \quad Y = \frac{V - v_1}{2} e^{-(x-x_0)} (1 - e^{-(x-x_0)})$$

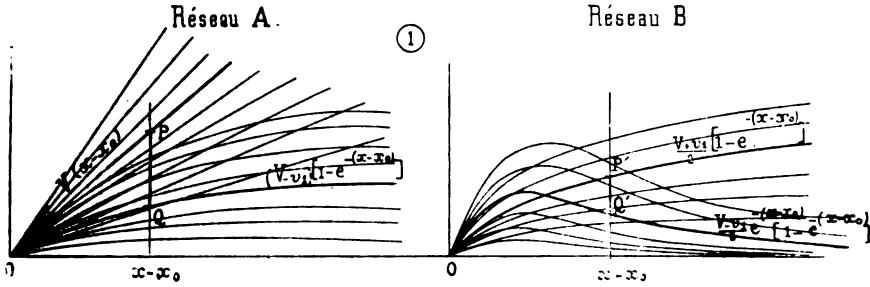


Fig. 28.

représentent, à l'échelle de l'abaque (1),

$$\begin{aligned} PQ &: V(x - x_0) - (V - v_1)(1 - e^{-(x-x_0)}), \\ P'Q' &: - \left[\frac{V + v_1}{2} (1 - e^{-(x-x_0)}) - \frac{V - v_1}{2} e^{-(x-x_0)} (1 - e^{-(x-x_0)}) \right]. \end{aligned}$$

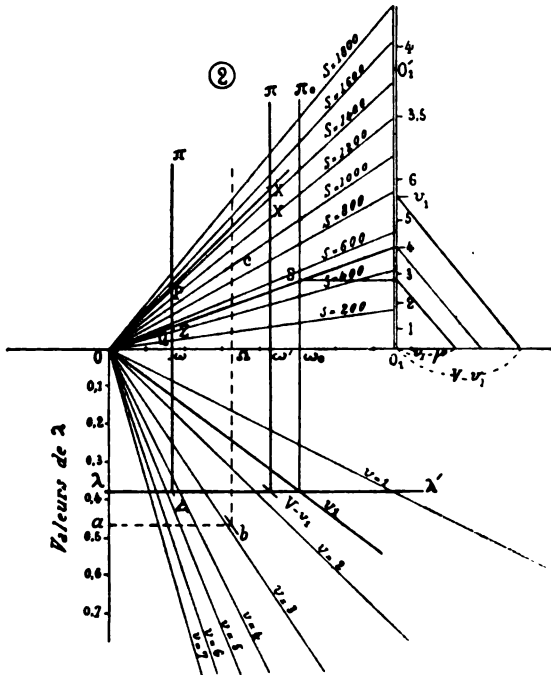


Fig. 29.

» Traçons sur un transparent mobile (2) une série de droites

$S = k\omega$ interceptant, sur une ordonnée quelconque, des longueurs proportionnelles aux distances marquées sur ces lignes :

$$S = 100, \quad S = 200, \quad S = 300, \quad S = 400, \quad \dots$$

» De plus, dessinons au-dessous de l'axe $O\overline{\omega\omega'}$ une série de droites $\lambda = v\omega$ faisant correspondre, pour une échelle convenable de λ , à $\lambda = a$, $v = b$ une ordonnée Ω , pour laquelle $O\Omega = \frac{\lambda}{v}$, telle que la longueur $C\Omega$ représente à l'échelle du diagramme ① la quantité

$$S \frac{a}{b}.$$

» Ceci posé, il est facile de voir que si l'on trace sur le transparent les lignes $\overline{\omega\pi}$, $\overline{\omega'\pi'}$ correspondant $\overline{\omega\pi}$ à λ et V , $\overline{\omega'\pi'}$ à λ et $V - v_1$, on lira sur les échelles S de la partie supérieure du transparent les vraies valeurs des espaces

$$S_1 = \frac{V}{\lambda} [V(x - x_0) - (V - v_1)(1 - e^{-(x-x_0)})],$$

$$S_2 = \frac{V - v_1}{\lambda} \left[\frac{V + v_1}{2} (1 - e^{-(x-x_0)}) - \frac{V - v_1}{2} e^{-(x-x_0)} (1 - e^{-(x-x_0)}) \right],$$

en mesurant S_1 , en appliquant $\overline{\omega\pi}$ sur PQ et S_2 en appliquant $\overline{\omega'\pi'}$ sur P'Q'.

» Sur le côté droit du transparent mobile ② traçons en O, O_1 une échelle de vitesse dont les divisions sont proportionnelles aux vitesses correspondantes; on pourra tracer la ligne $\overline{OS_0}$ représentant l'espace $\frac{v_1^2(v_1 - \mu)}{2\lambda(V - v_1)}$ en construisant, comme nous l'avons fait pour le transparent mobile de l'abaque de temps, la vitesse $\frac{v_1(v_1 - \mu)}{2V - v_1}$ et en reportant cette longueur sur l'ordonnée $\omega_0\pi_0$ correspondant à λ, v_1 du diagramme inférieur du transparent.

» En résumé, pour trouver la valeur de σ représentée par l'équation (2), on tracera d'abord les trois ordonnées $\omega_0\pi_0, \omega\pi, \omega'\pi'$ sur le transparent mobile, puis on construira la ligne $\overline{OS_0}$ comme il vient d'être indiqué; il n'y aura plus alors qu'à faire coïncider sur le réseau A du diagramme ① la ligne $\overline{\omega\pi}$ avec PQ en plaçant le point Z (de la droite $\overline{OS_0}$) sur Q, à tracer sur le transparent la

ligne OP coupant l'ordonnée $\omega'\pi'$ en X et à lire la distance correspondant à Q' quand on a fait coïncider sur le réseau B du diagramme ① la ligne $\omega'\pi'$ avec P'Q' en plaçant le point X sur P'.

» En déplaçant le transparent parallèlement à lui-même on pourra obtenir une série de valeurs corrélatives de σ et de $(x - x_0)$.

» Nous avons donc, par résolution des équations (1) et (2), obtenu toute une série de valeurs corrélatives de $(x - x_0)$, τ et σ , ou, ce qui revient au même, de W , τ , σ , φ , puisque

$$W = \frac{en}{\lambda} (x - x_0) + W_0.$$

» Nous serons donc en mesure de construire complètement, si nous le voulons, le diagramme complet de la marche du train et de trouver les valeurs de S , T , espace parcouru et durée de parcours,

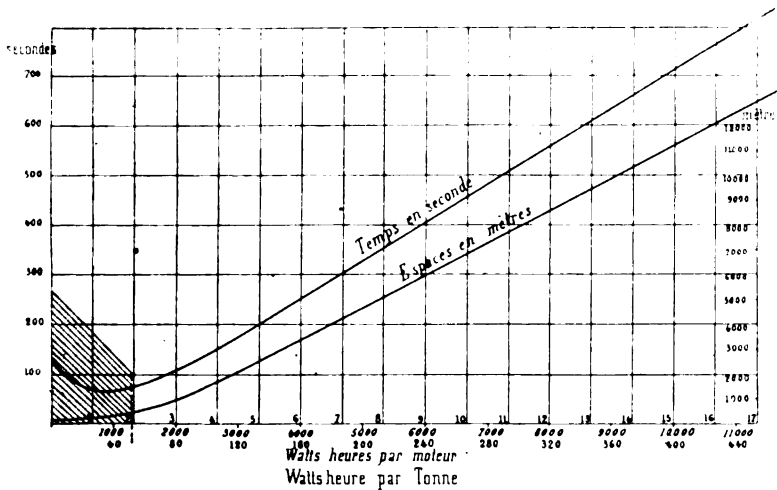


Fig. 30.

pour une durée de marche en vitesse acquise quelconque en n'effectuant pour ainsi dire aucun calcul.

» C'est en opérant de cette manière que nous avons pu déterminer les courbes reproduites ci-contre (fig. 30 et 31), calculées dans le cas particulier de la remorque d'un train de 200 tonnes au moyen de huit moteurs de 175 chevaux : courbes de consommation de courant en watts-heure par tonne-kilomètre, et de vitesse moyenne de marche en fonction de la longueur du parcours.

» Dans le calcul de ces courbes nous avons admis qu'il n'y avait

pas de marche en vitesse acquise, que l'accélération négative pendant le freinage était de 0,70 et que les résistances extérieures, air, roulement, produisaient une accélération négative de 0,06.

» Nous remarquerons, pour terminer, que par cette méthode on peut résoudre, d'une façon simple et rationnelle, tous les problèmes qui se posent constamment dans l'étude d'une installation de trac-

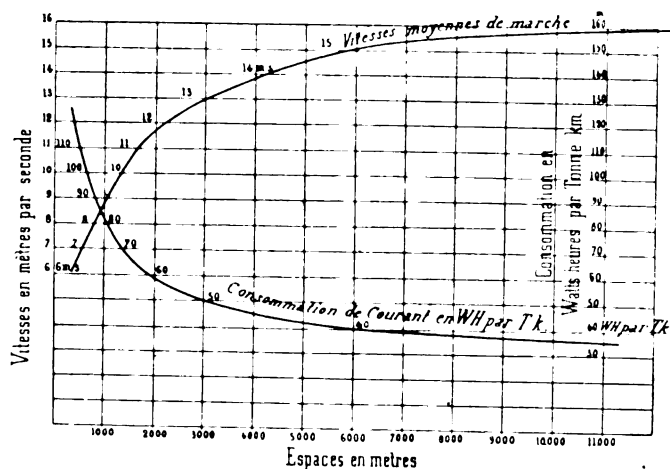


Fig. 31.

Train de 100 tonnes 4 moteurs G ϵ 55

$p = 2,47$

Roue : 1016 mètres.

Résistance au roulement 6 kgr. par tonne.

tion : tels que, par exemple, la détermination du rapport d'engrenages ou la forme même de caractéristique la plus favorable pour la réalisation d'un horaire dans des conditions d'échauffement fixées à l'avance.

» La résolution mathématique de ces problèmes ne présente par cette méthode aucune difficulté.

M. J. DE TRAZ s'autorise des études qu'il a faites lui-même, depuis près de 10 ans, sur la prédétermination du fonctionnement des moteurs de traction, pour féliciter vivement M. Parodi d'avoir exposé, d'une façon très complète, un genre de méthodes si rationnelles qu'il faut souhaiter de les voir se répandre largement.

Ayant rappelé ses propres travaux et ceux de notre éminent collègue M. P. Blaché, M. de Traz signale que M. J. Jaubert a fait

paraître un fort intéressant article sur la question dans la *Lumière électrique* du 15 novembre, et que la Société parisienne pour l'Industrie des Chemins de fer et Tramways électriques a convié quelques privilégiés à suivre, en décembre dernier, à Paris, une série de conférences, sur le même sujet, de M. Mailloux, l'Américain bien connu, qui professe ces méthodes de prédétermination du fonctionnement des moteurs de traction, aux États-Unis, et fait métier de les appliquer comme ingénieur-conseil.

M. de Traz voit, dans le concours de ces efforts divers en France, l'indication que l'heure approche où les exploitations de traction seront rationnellement projetées, et non plus à la manière ancienne.

Pour montrer l'intérêt que cela présentera, il rapproche des degrés d'approximation indiqués par M. Parodi l'exemple suivant :

Une ligne connue de tous nos collègues a débuté avec des trains de 4 voitures, dont une seule motrice portait 2 moteurs de 80 chevaux chacun. Ce train, muni ainsi de 160 chevaux, a fait place, pour les besoins du service, à un train qui peut être considéré comme double. Mais, au lieu de munir ce train double de deux fois 160 chevaux, on trouve maintenant avantageux, après bien des modifications successives, de le munir de 6 moteurs de 175 chevaux. La puissance de moteurs a donc ainsi plus que triplé, en quelques années, alors qu'on pouvait calculer à l'avance, à 10 ou 15 pour 100 près, la puissance optima.

M. le PRÉSIDENT remercie M. Parodi de sa très intéressante Communication et M. de Traz du commentaire dont il l'a fait suivre.

La séance est levée à 10^h 35^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Manuel d'Électrotechnique. *Étude des principes généraux et des machines électriques et industrielles*, par ADOLF THOMAELEN, ingénieur électricien. Traduit sur la 3^e édition allemande par BOY DE LA TOUR, ingénieur en chef des services électriques de la Compagnie de Fives-Lille.

A côté des Ouvrages de fonds concernant l'électrotechnique générale et des Traités spéciaux relatifs à la construction des machines, lesquels ne sont pas toujours accessibles aux débutants, le volume de M. Thomaelen est appelé à prendre une place fort honorable.

Il s'adresse, sous une forme simple, mais encore richement documentée, aux élèves des écoles techniques et aux techniciens non spécialistes.

La division de l'Ouvrage est celle d'un cours élémentaire et classique d'électrotechnique. Une place importante est réservée à l'étude des machines et transformateurs.

Les procédés analytiques ou graphiques y sont développés avec une grande clarté.

Traction électrique, par G. SATTLER. Traduit de l'allemand par PIERRE GIROT, ingénieur des Arts et Manufactures, licencié en droit. Gauthier-Villars, éditeur.

L'Ouvrage de M. Sattler, qui a déjà reçu en Allemagne un très grand succès, permet de prendre connaissance des progrès de l'électrification des moyens de communication.

Dépourvu de théories et de calculs compliqués, il intéressera certainement le public qui ne veut pas rester étranger aux progrès de l'industrie des transports.

L'Électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier. *Manuel pratique à l'usage des monteurs, électriciens, mécaniciens, élèves, etc.*, par E. ROSENBERG. Traduit de l'allemand par A. MAUDUIT, ancien élève de l'École Polytechnique. 3^e édition, revue et augmentée. Paris, H. Dunod et E. Pinat, éditeurs.

Ce Volume, d'un caractère foncièrement pratique, répond bien au but que s'est proposé l'auteur et qu'a très bien compris le traducteur.

Le titre dit d'ailleurs bien à quel public il s'adresse et quelles difficultés ont dû être surmontées pour permettre la compréhension du sujet avec des connaissances purement primaires.

L'accueil fait à deux éditions successives prouve surabondamment qu'un livre élémentaire bien présenté est sûr de toujours rencontrer le succès.

L'Électricité industrielle, de M. Rosenberg, est certainement l'un des meilleurs Ouvrages du genre et, comme tel, à recommander.

Leçons d'Électrotechnique générale, professées à l'École supérieure d'Électricité, par P. JANET. 2^e édition, revue et augmentée. Tome III : *Moteurs à courants alternatifs. Couplage et compoundage des alternateurs. Transformateurs polymorphiques*. Gauthier-Villars, éditeur.

La suite des *Leçons d'Électrotechnique générale*, de M. P. Janet, se passerait de présentation s'il ne convenait de dire au moins en quoi consiste le Tome III, qui complète la publication des deux premiers Tomes de la deuxième édition.

Parmi les douze Chapitres qui embrassent les moteurs à courants alternatifs des diverses classes et les générateurs et transformateurs polymorphiques, il convient de signaler particulièrement l'étude de la répartition des champs, celles du couplage et du compoundage des alternateurs, ainsi que l'analyse des conditions de fonctionnement des commutatrices, des transformateurs redresseurs de M. Leblanc et des permutatrices de MM. Rougé et Faget, et des moteurs à collecteur.

La *physiologie des machines*, comme le dit si justement l'auteur, est véritablement exposée dans ces pages, où la clarté le dispute à la précision. La trace des excellentes leçons professées à l'École supérieure d'Électricité par l'éminent professeur se propagera, grâce à la publication maintenant complète des leçons d'électrotechnique générale, bien au delà de l'école, jusque dans le public des ingénieurs et des praticiens.

Dynamobau : Berechnen und Entwerfen der elektrischen Maschinen und Transformatoren. (*Construction des dynamos : calculs et projets de machines électriques et de transformateurs*), par KARL PICHELMAYER, professeur à l'École supérieure impériale et royale de Vienne. 1 volume de 745 pages, avec 432 figures et 24 planches. (Collection électrotechnique publiée sous la direction du Dr C. Heinke; S. Hirzel, éditeur, à Leipzig.)

Un Traité de cette importance impose une présentation spéciale, non seulement en raison de la grande notoriété de l'auteur, mais encore, et surtout, à cause de la conception qui a présidé à la rédaction de l'Ouvrage.

Nous ne saurions mieux faire à cet égard qu'en puisant dans la Préface, où l'auteur expose clairement son but : « Le présent Volume est écrit, dit-il, pour les ingénieurs qui veulent acquérir une connaissance précise de l'établissement et du calcul des machines électriques. »

Dans ces conditions, tous les genres de machines les plus importants devant être décrits, il convenait, pour ne pas donner à la publication des proportions démesurées, de la limiter en supposant connues tout d'abord les dispositions générales de la construction des machines électriques et les principes fondamentaux sur lesquels celle-ci repose. Pour mieux faire ressortir également l'utilité de son entreprise, l'auteur a laissé intentionnellement de côté les formes intermédiaires des machines ne présentant plus aujourd'hui qu'un intérêt historique et s'est renfermé dans l'étude exclusive, mais profonde, de la construction moderne des dynamos.

De plus, par une méthode nouvelle, toutes les parties théoriques ou relatives à la construction des derniers genres de machines, et offrant quelque point commun ou une certaine similitude, sont rassemblées et traitées en même temps; les points de vue sont ainsi généralisés pour le plus grand profit du lecteur.

Il appartenait à un ingénieur aussi éminent, rompu par vingt années de pratique et d'observations dans la conduite des études et la réalisation de nombreux types, —

ayant dû aborder, par suite, les problèmes techniques les plus délicats —, de rompre franchement avec la pratique surannée de la plupart des Ouvrages techniques de notre époque. Ceux-ci, dus, en effet, presque toujours à des professeurs dont le mérite n'est cependant pas mince, imposent à ceux qui les étudient une séparation tranchée, mais illogique, entre le courant continu et les courants alternatifs. Il semblerait que les méthodes valables pour l'un doivent être essentiellement d'une forme toute différente pour les autres, alors que les lois sont absolument communes; il en résulte, pour ainsi dire, une double étude et parfois même de véritables contresens.

Quelques esprits ont été frappés déjà d'une telle opposition et il n'y a nul doute de voir prochainement le procédé de généralisation ici adopté s'étendre rapidement dans l'enseignement technique.

Il convient de féliciter M. Pichelmayer de s'être courageusement affranchi de la méthode routinière pour entrer, avec un tel succès, dans la voie nouvelle qu'il a abordée.

Dans le traitement des diverses questions que soulève la construction, il a eu, en outre, le grand soin, puisant dans son expérience, de se renfermer dans les moyens les plus simples d'exposition, afin de ne pas noyer le lecteur dans des développements superflus. « Une analyse parfois trop détaillée n'ayant — dit-il — souvent pour l'ingénieur-constructeur pas grande valeur, faute de temps pour la poursuivre » : aussi la partie théorique est-elle limitée ici au minimum indispensable.

L'Ouvrage de M. Pichelmayer fixe avec précision et clarté la physionomie de la construction des machines à l'heure actuelle; il sera lu et étudié avec fruit par tous ceux que cette importante question intéresse. L'éloge le plus caractéristique que nous puissions formuler sincèrement à son propos est que, dans notre pensée, il servira longtemps de modèle en la matière.

La division de l'Ouvrage est particulièrement frappante; nous indiquerons ici les grandes lignes des treize Chapitres :

I. Introduction. — II. Matériaux de construction du circuit magnétique; isolants; matériaux de la partie mécanique. — III. Rappel des lois fondamentales du circuit électrique et du circuit magnétique. — IV. Enroulements d'armature des machines à courant continu et des alternateurs. — V. Calcul de la force électromotrice dans les machines à courant continu et dans celles à courants alternatifs. — VI. Commutation. — VII et VIII. Circuit magnétique. — IX. Pertes et rendement. — X. Échauffement. — XI et XII. Calcul des machines des diverses classes tant au point de vue des dimensions électriques et magnétiques qu'au point de vue mécanique. — XIII. Description de types de machines et de transformateurs.

Le Chapitre VI sur la commutation rappelle les travaux si importants de l'auteur sur cette délicate question et principalement l'influence du champ de commutation sur la tension de réactance.

Les Chapitres VII et VIII, relatifs au circuit magnétique, envisagent celui-ci dans le cas de marche à vide et de la marche en charge de tous les genres d'appareils; les calculs relatifs à la dispersion sont très développés et à étudier avec la plus grande attention, pour le plus grand profit du lecteur.

Ce conseil s'applique, d'ailleurs, à l'ensemble d'un Ouvrage aussi sérieux et si parfaitement mis au point par un maître aussi savant qu'expérimenté.

Les étudiants de nos écoles techniques et les ingénieurs-constructeurs y puiseront de précieux enseignements.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours,
de 2 heures à 5 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

Contrôle des installations électriques. Appendice contenant la loi du 15 juin 1906 et ses annexes, décrets, règlements et circulaires, par A. Monmerqué. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-8, relié toile. (*Don de l'éditeur.*)

Machinisme (Le) dans la vie quotidienne, par Max de Nansouty. Paris, Pierre Roger et C^{ie}, 1909; 1 vol. in-8 broché. (*Don de l'éditeur.*)

Mines (Les) à travers les âges. L'exploitation électrique, par Émile Guarini. Paris, en vente chez Dunod et Pinat, s. d. [1909]; 1 brochure in-8. (*Don des éditeurs.*)

Téléphonie sans fil, par Ernst Ruhmer. Traduit de l'allemand par L. Ancel. Préface de M. A. Blondin. Paris, H. Desforges, 1909; 1 vol. grand in-8. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Die Atmosphärische Elektrizität. Methoden und ergebnisse der modernen luftelektrischen Forschung, von H. Mache und E. von Schweidler. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1909; 1 vol. in-8, broché. (Collection *Die Wissenschaft*, fasc. 30.) (*Don de l'éditeur.*)

Dynamobau. Berechnen und Entwerfen des elektrischen Maschinen und Transformatoren, von Karl Pichelmayer. Leipzig, S. Hirzel, 1908; 1 vol. grand in-8, relié toile. (Collection *Handbuch der Elektrotechnik*, vol. V.) (*Don de l'éditeur.*)

Un puissant auxiliaire de la science et de l'industrie. L'arc voltaïque : son mécanisme et ses applications. Conférence..., par Ch.-Eug. Guye.

1 brochure in-8, tirage à part des *Verhandlungen der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft*. Glaris, 1908. (*Don de l'auteur.*)
Université de Genève. Laboratoire de Physique : 2^e série, 6^e fascicule, *Différence de potentiel et stabilité de l'arc alternatif entre métaux*, par C.-E. Guye et A. Bron; 7^e fascicule, *Étude sur la viscosité de quelques métaux en fonction de la température*, par C.-E. Guye et S. Mintz. Genève, Société générale d'Imprimerie, 1908; 2 fascicules in-8 brochés. (*Don de M. Ch.-Eug. Guye.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE, p. 197. — Admission de Membres titulaires, p. 198. — Rapport de la Commission des Comptes (M. **Eschwège**), p. 199. — Rapport du Comité d'administration (M. le **Secrétaire général**), p. 202. — Compte rendu sur le Laboratoire et l'École supérieure d'Électricité (M. **P. Janet**), p. 204. — Situation financière et bilan de la Société au 31 décembre 1908, p. 214. — Allocution de M. **P. Boucherot**, Président sortant, p. 267.

Appareil pour la mesure des courants téléphoniques et en général des courants périodiques de grande fréquence et de très faible intensité (M. le professeur **Riccardo Arno**), p. 219. — Traction par courant continu à intensité constante (M. **J. Bourdel**), p. 233.

CORRESPONDANCE, p. 273.

BIBLIOGRAPHIE, p. 274.

OUVRAGES OFFERTS, p. 279.

COMPTE RENDU

DE

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ANNUELLE

ET DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 avril 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. P. BOUCHEROT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle est adopté.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque (voir p. 279) et des demandes d'admission suivantes :

- Association des anciens Élèves de l'Institut électrotechnique de Grenoble**, 10, rue Humbert II, à Grenoble (Isère). — Présenté par MM. Barbillion et Bergeon.
- Baudot** (Victor-Marie), Ingénieur, 10, rue Nicolas-Charlet, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Blanc** (Edmond-Émile-Pierre), Ingénieur civil des Mines, Concessionnaire des *Mines de fer et manganèse du Jaur*, 22, avenue de la Gare, à Bédarieux (Hérault). — Présenté par MM. Bureau et Jouaust.
- Chasseriaud** (René-Paul), Ingénieur, Secrétaire de la *Lumière électrique*, 15, rue de Médicis, à Paris. — Présenté par MM. Blondel et Becq.
- David** (Paul-Marius), Ingénieur de plate-forme à la *Compagnie électromécanique*, 191, rue Lafayette, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Dechandol** (Pierre-Georges), Ingénieur électricien, 8, rue Edme-Guillout, à Paris. — Présenté par MM. Chaumat et Marec.
- Demaretz** (Jules-Eugène-Pierre), Ingénieur principal de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 1, rue Cavallotti, à Paris. — Présenté par MM. Ch. Guillaume et Tournaire.
- Doat** (Fernand), Enseigne de vaisseau à bord de la *Lance*, à Lorient (Morbihan). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Echeverria** (Ruperto), Ingénieur civil, attaché à la *Légation du Chili en Italie*, 14, rue de Tilsitt, à Paris. — Présenté par MM. Bourguignon et Marec.
- Ferrié** (Gustave-Auguste), Chef de bataillon du Génie, *Établissement central de la Télégraphie militaire*, 23, boulevard du Montparnasse, à Paris. — Présenté par MM. Carpentier et Blondel.
- Henrard** (Georges), Directeur de la *Société Lyonnaise des Forces motrices du Rhône*, 37, rue de la République, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Boucherot et E. Dumont.
- Nury** (Jean), Ingénieur en chef à la *Westinghouse electric Company Ltd.*, 4, rue Auber, à Paris. — Présenté par MM. Soucadauch et Rouvel.
- Olivier** (Georges-Basile), Directeur-Administrateur délégué de la *Société anonyme La Gallo-roumaine*, pour l'industrie du pétrole en Roumanie, 4, boulevard de l'Académie, à Bucarest (Roumanie). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.
- Pravaz** (Henri), Ingénieur à la *Société l'Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 343, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône). — Présenté par MM. G. Cordier et G. Petit.
- Rochas** (Jean), Ingénieur des Télégraphes, 1, cours du Midi, à Lyon (Rhône). — Présenté par MM. Devaux-Charbonnel et V. Rochas.
- Roy** (Georges-Eugène), Chef des travaux de Physique à la *Faculté des Sciences de Dijon*, 13, rue René-Fleutelot, à Dijon (Côte-d'Or). — Présenté par MM. Charlot et Pionchon.
- Trenzen** (C.), Docteur, 30, Kaldenkirchenerweg, à Venloo (Hollande). — Présenté par MM. Armagnat et Weissmann.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Weyl* et *Grunberg* et en exprime les regrets de la Société.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES SUR L'EXERCICE 1908.

M. ESCHWÈGE, rapporteur. — « Messieurs, je viens, au nom de la Commission des Comptes que vous avez nommée dans l'Assemblée générale du 1^{er} avril 1908, vous exposer le résultat de ses travaux.

» Elle a contrôlé la régularité des écritures et vérifié l'existence des différentes valeurs figurant à l'actif de la Société.

» Les comptes vous sont présentés en trois chapitres :

» Services généraux,

» Laboratoire,

» École,

sur lesquels nous avons à vous présenter les observations suivantes :

» 1^o SERVICES GÉNÉRAUX. — A. *Compte de l'exercice*. — Les recettes totales, qui, en 1907, s'étaient élevées à 80649,67 fr, ne sont cette année que de 54783,65 fr, en diminution de 25866,02 fr; cette diminution est due à ce que l'exercice 1907 avait bénéficié d'une recette exceptionnelle de 37969,20 fr provenant du legs Cheux.

» Les recettes de 1908 comprennent :

» 38242,70 fr de recettes ordinaires, 7816,95 fr de recettes dont les affectations sont déterminées par les statuts ou par vos décisions antérieures, et 8723 fr qui ont été recueillis, grâce aux actives démarches de M. Janet, en vue de travaux sur les unités et ont été mis à la disposition du Laboratoire à cet effet.

» Déduction faite des dépenses de l'exercice, il reste disponible 3772,02 fr qui viennent augmenter l'actif de la Société, en plus des 3153,45 fr provenant des cotisations libérées en 1908 et intérêts accumulés du legs Cheux et qui doivent être placés au fonds social.

» L'avoir de la Société se trouve donc aujourd'hui augmenté de 6925,47 fr, ce qui porte son total à 175825,49 fr.

» *B. Bilan.* — Le bilan au 31 décembre 1908 comporte :

A l'actif, un total de	187 010,15 fr
Au passif, un total de	11 184,66
Différence.....	<u>175 825,49</u>

» Le fonds social est représenté par 43033,18 fr.

» Il est constitué par 145 cotisations libérées, 3 demi-cotisations libérées et 4091 fr de dons sans affectations spéciales, faisant au total 40716 fr.

» Les prescriptions de l'article 12 de vos statuts à l'égard de ce fonds sont donc bien observées.

» Les titres en portefeuille sont évalués, suivant l'usage, d'après leurs cours au 31 décembre 1908, la différence entre cette valeur et le prix d'achat étant portée dans un compte d'ordre pour la somme de 3402,55 fr.

» Le compte Bibliothèque est augmenté de 825,65 fr, montant de l'acquisition de l'exercice.

» 2° LABORATOIRE. — *A. Compte de l'exercice.* — Les recettes du Laboratoire ont été de 72963,05 fr, en augmentation d'environ 11000 fr sur l'exercice précédent. Cette augmentation provient en grande partie des redevances pour essais qui figurent pour 49165,15 fr contre 41544,50 fr en 1907.

» Les dépenses se sont élevées, y compris 2379,30 fr pour acquisition d'instruments, à 66760,90 fr, laissant un solde créditeur de 6202,15 fr. Ce résultat a permis de ne pas avoir recours à la Société comme cela avait lieu les autres années.

» *B. Bilan.* — L'avoir du Laboratoire était, au 31 décembre 1908, de 394856,72 fr, en augmentation sur l'exercice précédent de 2379,30 fr + 6202,15 fr = 8581,45 fr.

» Le Laboratoire n'ayant pu pendant l'année toucher les arrérages de la rente qui lui est due par le Ministère du Commerce, la Société lui a fait une avance de 7000 fr qui, dans le bilan, est portée à l'actif de la Société et au passif du Laboratoire ; le décret en autorisant le paiement doit paraître prochainement, le Laboratoire pourra donc restituer cette avance à la Société.

» Les constructions, portées à l'actif du précédent bilan pour

232976,83 fr, ne figurent plus cette année que pour 227976,83 fr, en diminution de 5000 fr sur l'exercice précédent par suite de l'amortissement correspondant à la réduction de l'avance du Ministère du Commerce qui se trouve ainsi ramenée à 25000 fr.

» 3° ÉCOLE. — A. *Compte de l'exercice*. — Les recettes de l'École ont été de 143258,55 fr; l'augmentation de 28673,95 fr sur 1907 provient notamment des redevances des élèves, qui se sont élevées à 124469,50 fr contre 102187,50 fr l'année dernière, soit une augmentation de 22282 fr. En outre, la subvention de la Ville de Paris qu'on avait cru être supprimée l'année dernière parce qu'elle n'avait pas été votée par le Conseil municipal avec les autres subventions, mais qui, au contraire, avait été inscrite dans le budget général, ce qui lui donne un caractère plus définitif, a été touchée pour les deux années et est portée au crédit pour 4000 fr. Les dépenses se sont élevées à 118071,85 fr, y compris 14198,50 fr pour acquisition d'instruments et matériel. Par conséquent, en 1908, non seulement l'École n'a pas eu de prélèvement à faire sur les fonds disponibles, mais encore elle a pu placer 10002,65 fr au fonds de réserve.

» B. *Bilan*. — L'avoir de l'École, qui au 31 décembre 1907 était de 210071,86 fr, s'est, par suite du résultat de l'exercice, trouvé au 31 décembre 1908 augmenté de 25186,70 fr + 14198,50 fr, soit 39385,20 fr, ce qui l'a porté à 249457,06 fr.

» En résumé, la situation des trois services se présente ainsi qu'il suit :

<i>Société :</i>	Avoir net au 31 décembre 1908.....	175825,49 fr
<i>Laboratoire :</i>	— —	394856,72
<i>École :</i>	— —	249457,06
Donnant un total de.....		820139,27
En augmentation de.....		54892,12
sur l'année précédente.		

» La situation de notre Société, du Laboratoire et de l'École se trouve donc cette année, grâce au dévouement de tout le personnel, en sensible progrès sur les années précédentes, mais nous devons aussi en grande partie cette prospérité à votre sympathique trésorier et à ses collaborateurs, et la Commission ne peut que vous proposer

de leur adresser vos remerciements et d'approuver les comptes tels qu'ils vous sont présentés. »

A l'unanimité, l'Assemblée générale approuve les comptes de l'exercice 1908, ainsi que les conclusions du Rapport présenté par la Commission.

RAPPORT DU COMITÉ D'ADMINISTRATION.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL. — « Messieurs, l'année qui vient de s'écouler a été bonne pour notre Société dont l'activité n'a pas cessé, et, si nous n'avions pas à déplorer des pertes irréparables, nous pourrions dire qu'elle a été très bonne.

» Nos convocations et le *Bulletin* vous ont montré que nos séances sont toujours aussi chargées; un grand nombre de Communications, portant sur des sujets variés, vous ont été présentées et sont dues, en partie, aux travaux de nos Sections.

» C'est ainsi que la deuxième Section nous a procuré les Communications de MM. Broca et Laporte sur l'étude des principales sources de lumière au point de vue de l'hygiène de l'œil, de M. Blondel sur les lampes à incandescence à filaments métalliques et de M. Laporte, nous apportant, sur le même sujet, les résultats d'essais faits au Laboratoire.

» A la cinquième Section nous sommes redevables de la Communication de M. Abraham sur un récepteur monophonique à grande sensibilité et de celle de M. Tosi sur la télégraphie et la téléphonie sans fil dirigeable.

» Notre président, M. Boucherot, vous a parlé d'abord de la localisation superficielle des courants et flux variables, ensuite des appareils et machines à courant et mouvement alternatifs.

» La question des systèmes de mesures a donné lieu à trois Communications de MM. Brylinski, D. Berthelot et Pellat, et à de nombreuses observations; elle a amené M. Guillaume à nous parler de l'état actuel du système métrique.

» Dans le domaine de l'Électrochimie, nous avons entendu

M. Matignon nous exposer les progrès récents de l'Électrométallurgie et M. Brochet l'état actuel des industries du chlore et des alcalis électrolytiques.

» M. Iglesias nous a montré une dynamo à débit constant; M. Busset-Schiller nous a parlé des régulateurs à force d'inertie tangentielle; M. David, de la Commission électrotechnique internationale; M. Berthelot, de l'usine de Saint-Denis, et M. Parodi, des calculs des projets de traction.

» En dehors des Communications qu'elles provoquent, nos Sections continuent à étudier des questions dont nous verrons bientôt les résultats; la première et la quatrième Section réunies ont entrepris l'examen, au point de vue technique, des lois et règlements concernant l'industrie électrique, et les séances consacrées à ce travail ne sont pas les moins suivies.

» L'action de la Société à l'extérieur s'est manifestée à Londres, où MM. Boucherot et David représentaient le Comité électrotechnique français à la réunion du conseil de la Commission électrotechnique internationale, et à Marseille, où le Congrès des Applications de l'Électricité a réuni un grand nombre de nos collègues.

» Notre *Bulletin* n'est pas seulement le procès-verbal de nos réunions mensuelles, il renferme aussi des travaux importants sur des questions de premier ordre et vous avez remarqué l'ampleur inusitée du numéro de vacances consacré entièrement aux travaux français exécutés récemment sur les unités électriques. Votre Bureau a tenu à réunir là non seulement les nombreux travaux effectués au Laboratoire central d'Électricité, mais aussi quelques travaux accomplis au dehors et préparés en vue de la Conférence officielle qui s'est tenue à Londres le 12 octobre 1908.

» Il me reste à vous rappeler les vides survenus parmi nous : nous avons perdu 4 membres fondateurs, MM. Becquerel, Picard, Rousseau et Coiseau; 17 membres titulaires, MM. Weyl, Pellissier, Vigreux, Aboilard, Martin, Limousin, Gillot, de Bovet, Canet, Mascart, Belle, Lottin, de Sainte-Anne, Bertolus, Meylan, de Clausonne et Grunberg.

» M. Boucherot vous a déjà dit quelle perte nous avons faite à la mort de M. Mascart; prochainement M. Janet vous retracera dans le *Bulletin* l'œuvre scientifique de l'homme auquel la Société doit

tant et nous y sentirons revivre l'activité de notre regretté ancien président.

» Pour atténuer cette impression pénible laissez-moi finir en vous annonçant que la Société a dépassé l'effectif de 1600 membres, continuant ainsi la marche progressive qu'elle suit depuis plusieurs années. »

**COMPTE RENDU SUR LE LABORATOIRE CENTRAL
ET L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.**

M. P. JANET. — « Messieurs, j'ai l'honneur de présenter à l'Assemblée générale mon Rapport annuel sur le fonctionnement des services du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité pendant l'année 1908 :

I. — Laboratoire central d'Électricité.

» 1° *Matériel.* — Parmi les appareils dont notre matériel s'est accru dans l'année écoulée, nous signalerons : un pont de Wheatstone en manganin de précision de la maison Carpentier; deux ohms en manganin de précision de Siemens, étalonnés par la Physikalische Technische Reichsanstalt, et destinés à rattacher nos mesures à celles de cet établissement; un millivoltmètre Siemens de précision, etc.

» Nous avons, de plus, étudié et commandé un groupe spécial composé de cinq machines montées sur le même arbre, et destiné à se prêter aux combinaisons les plus variées pour l'étalonnage des compteurs à courants alternatifs simples et polyphasés; ce groupe sera livré incessamment.

» 2° *Installations nouvelles.* — Parmi les installations nouvelles, nous signalerons en premier lieu l'aménagement des salles de métrologie disposées dans l'annexe (voir Rapport de 1907); c'est dans ces salles qu'ont été exécutées les recherches sur les unités électriques dont nous parlons plus loin; nous mentionnerons également l'installation d'une salle destinée spécialement à la photo-

métrie de lampes à incandescence ; nous nous sommes attachés, dans cette nouvelle installation, à substituer entièrement les méthodes potentiométriques aux procédés de lecture directe pour les mesures de tension et d'intensité : cette substitution était rendue nécessaire par la précision de plus en plus grande qu'on demande pour les mesures photométriques.

» 3° *Essais.* — Les essais effectués au Laboratoire en 1908 ont été au nombre de 1132 contre 947 en 1907. Les recettes pour essais se sont élevées à 53 765,15 fr (dont 4600 fr d'essais spéciaux pour le Ministère de la Marine) contre 45 144,50 fr en 1907, soit une augmentation de 8620,65 fr. Ces essais se répartissent de la manière suivante :

Compteurs.....	410
Lampes à incandescence.....	189 (1)
Machines et transformateurs.....	125
Ampèremètres.....	114
Voltmètres.....	95
Piles.....	31
Haute tension.....	20
Isolants.....	18
Résistances.....	18
Tôles et fers.....	14
Accumulateurs.....	12
Lampes à arcs.....	11
Wattmètres.....	8
Vérification d'installation.....	8
Paratonnerres.....	8
Essais de précision.....	2
Divers.....	49
	1132

» Dans ces essais ne figurent pas le service de vérification périodique des installations électriques de la Chambre des députés, que le Laboratoire exécute depuis 1898 par abonnement à forfait ; de plus, à l'occasion du renouvellement du marché qui régit ces installations et de leur développement, nous avons exécuté les essais de réception prévus à ce marché.

(1) Portant sur 518 lampes et 733 mesures photométriques.

» Nous signalerons, comme particulièrement intéressants, les essais suivants :

» En premier lieu, la continuation des séries d'essais d'accumulateurs pour sous-marins exécutés pour le Ministère de la Marine : une série s'est terminée en octobre 1908, dans les conditions imposées par le programme ; une autre série, portant également sur quatre éléments, a commencé en décembre 1908 et se poursuit actuellement.

» Les essais de câbles qui nous avaient été demandés par le Ministère de la Marine se sont terminés en 1908 ; ces essais, très considérables, ont eu pour objet l'étude de la détérioration et de l'échauffement des câbles en service ; la première partie a consisté en des essais d'isolement et de rupture diélectrique avant et après pliages sur des rayons de grandeur décroissante, et avant et après étuvage prolongé. Les essais d'échauffement ont porté sur l'échauffement en régime variable et en régime permanent des câbles étudiés, soit nus, soit isolés et armés. Les câbles soumis à nos essais avaient des sections variant de 1 mm² à 800 mm² ; les courants d'essais étaient compris entre 5 et 1500 ampères.

» Un très grand nombre de courbes intéressantes résument nos essais qui ont fait l'objet d'un important Mémoire présenté au Ministère de la Marine. Nous espérons obtenir l'autorisation de le reproduire dans le *Bulletin* de notre Société. Signalons, dès maintenant, les expériences faites sur les câbles brillants ou noircis par sulfuration ; sur l'échauffement comparatif des câbles nus et isolés, et des câbles librement suspendus dans l'air ou appliqués contre une paroi.

» Enfin, pour terminer ce qui concerne la Marine, nous mentionnerons la continuation des essais de durée et des essais photométriques des lampes destinées à la flotte, essais pour lesquels nous avons un marché régulier ; nous sommes également chargés, pour le même service, des essais de ventilateurs : huit de ces appareils ont passé cette année au Laboratoire, et ont été éprouvés au point de vue de la vitesse, de la consommation, de l'échauffement et de l'efficacité de la ventilation, cette dernière propriété étant évaluée par des mesures approximatives de la pression de l'air sur un obstacle fixe placé à une certaine distance du ventilateur.

» Le Ministère de la Guerre nous a chargés de très nombreux essais de réception pour le matériel électrique destiné à l'Administration des Poudres et Salpêtres : ces essais ont porté, en 1908, sur une centaine de moteurs de puissances variées, et ont eu lieu soit dans les ateliers de construction, à Paris et en différentes régions de la France.

» Les essais de compteurs ont, comme toujours, été fort nombreux ; nous n'avons rien à dire des compteurs pour faibles et moyennes puissances ; mais, comme nous le signalions dans notre Rapport de l'an dernier, les compteurs pour grandes puissances des stations centrales continuent à faire l'objet d'essais intéressants : c'est ainsi que nous avons été appelés, pour des études de ce genre, dans deux importantes usines des environs de Paris et dans un réseau de distribution du centre de la France. Pour effectuer ces essais au Laboratoire notre installation déjà ancienne était devenue insuffisante ; nous avons dû commander pour l'améliorer le groupe de cinq machines signalé plus haut.

» Les essais d'isolateurs à haute tension sont toujours nombreux, et les tensions demandées s'élèvent de jour en jour : nous montons actuellement à 100000 volts efficaces, et nous sommes en état de faire des essais à cette tension sous la pluie artificielle. Les mesures de ces hautes tensions présentent quelques difficultés : nous les exécutons maintenant, au moyen d'un nombre convenable de condensateurs montés en série, la tension réduite étant mesurée au moyen d'un électromètre de lord Kelvin monté en dérivation sur l'un de ces condensateurs.

» Les essais de lampes à filament métallique se sont multipliés dans le cours de la dernière année : vous avez entendu récemment la remarquable Communication de M. Laporte à ce sujet.

» Enfin, comme chaque année, nous avons vérifié les installations de paratonnerres d'un certain nombre de monuments publics. Rappelons à ce sujet que, dès 1882, la Commission internationale qui s'est tenue à Paris avait émis le vœu que les paratonnerres soient partout soumis à des vérifications périodiques.

» Nous estimons que ce vœu est trop rarement respecté par les administrations publiques.

» 4° *Travaux et recherches.* — Les recherches du Laboratoire pendant l'année 1908 ont surtout porté sur les unités électriques. J'ai longuement exposé, dans mon Rapport de 1907, l'origine et le but de ces travaux ; je n'ai donc pas à y revenir ici. Conformément au programme qui avait été tracé, le Laboratoire a effectué une série complète de recherches sur l'élément étalon au cadmium de Weston ; sur la mesure, au moyen d'un électrodynamomètre absolu, de la force électromotrice de cet étalon, et sur la mesure de l'équivalent électrochimique de l'argent : ces travaux ont fait l'objet de trois importants Mémoires qui ont été publiés dans le *Bulletin* de vacances de la Société. Mais là ne s'est pas borné le rôle du Laboratoire ; c'est en effet chez nous et avec l'aide de notre personnel et de notre matériel que M. Pellat a effectué ses mesures sur l'électrodynamomètre absolu de son système qui avait été construit au moyen d'une subvention de l'Administration des Postes et des Télégraphes. Ces recherches ont montré l'avantage considérable qu'il y a à centraliser dans un même laboratoire des travaux de ce genre : le Laboratoire central, en effet, a pu, dans cette circonstance, mettre à la disposition de M. Pellat ses étalons de résistance et de force électromotrice, et ainsi ses mesures ont pu être directement rattachées aux nôtres. Il en a été de même des mesures effectuées par M. Guillet sous la direction et dans le laboratoire de M. Lippmann à la Sorbonne ; c'est encore le Laboratoire central qui a pu fournir à M. Guillet les résistances étalonnées et les éléments étalons dont il avait besoin ; tous ces travaux ont, comme on le sait, été publiés dans le *Bulletin* de la Société. Ils offrent pour la première fois un exemple de travaux d'ensemble exécutés en coopération, notre Laboratoire étant le centre qui a tout réuni ; l'exemple de tels travaux est encore trop rare pour ne pas être ici signalé avec quelque insistance : il est à remarquer, en effet, que les travaux de ce genre, et nous en pourrions citer, quel que soit le soin avec lequel ils ont été effectués, perdent une grande partie de leur valeur lorsqu'ils restent individuels ; dans les circonstances présentes, le Laboratoire central a donc entièrement répondu à l'une des pensées de ses fondateurs.

» Comme on le sait, ces travaux étaient destinés à être présentés

à la Conférence internationale des Unités électriques qui s'est ouverte à Londres le 12 octobre dernier. La France a été dignement représentée à cette Conférence par trois délégués éminents, MM. Lippmann, Benoit et de Nerville ; il est permis de regretter que le Laboratoire central d'Électricité, qui avait pris une part si importante aux travaux préparatoires, n'ait pas eu à la Conférence de représentant officiel. M. F. Laporte, sous-directeur du Laboratoire, a bien voulu se rendre à Londres pour présenter officieusement nos travaux aux différents membres de la Conférence ; il y a été accueilli de la manière la plus flatteuse pour notre Laboratoire, et invité, dès les premiers jours, à assister aux séances de la Conférence officielle et de la Commission technique qu'elle avait formée.

» Nous avons hautement apprécié cet acte de courtoisie internationale, et nous en remercions M. Glazebrook, directeur du National Physical Laboratory, qui en a été le principal instigateur. Nous n'avons pas à résumer ici les résultats de la Conférence. Disons seulement qu'elle s'est terminée par la nomination d'une Commission technique ayant pour mission de continuer l'étude des questions en suspens, et que le directeur du Laboratoire central d'Électricité a eu l'honneur d'être désigné pour faire partie de cette Commission, où la France est représentée par MM. Lippmann et Benoit.

» Indépendamment de ses recherches sur les unités électriques, le Laboratoire a continué ses études en commun avec les Laboratoires nationaux d'Angleterre et d'Amérique pour l'unification des unités d'intensité lumineuse.

» Grâce à la présence simultanée en Angleterre de M. Laporte, représentant le Laboratoire central, et de M. Rosa, représentant le Bureau of Standards de Washington, des expériences comparatives directes ont pu être exécutées au National Physical Laboratory de Teddington, sur le même banc photométrique, avec les mêmes lampes et les mêmes observateurs ; de telles mesures, que les circonstances rendent ordinairement difficilement réalisables, présentent une haute valeur scientifique et technique. Ces expériences, jointes à celles qui se sont poursuivies depuis plusieurs années, ont rendu possible une entente entre les trois Laboratoires, entente sur laquelle nous aurons ultérieurement à revenir.

» 5° *Exposition et Congrès de Marseille.* — Le Laboratoire a pris part à l'Exposition d'Électricité de Marseille, où il présentait une importante collection de documents, de diagrammes, d'appareils et de modèles; il était d'ailleurs hors concours par la présence de son directeur dans le Jury des récompenses. D'autre part, le personnel du Laboratoire prit une part active au Congrès, où MM. Laporte, sous-directeur, et Durand, chef des travaux, présentèrent deux Rapports, le premier sur la spécification des lampes à incandescence, le second sur les instruments de mesure.

II. — École supérieure d'Électricité.

» 1° *Matériel.* — Le matériel s'est largement accru en 1908 : signalons en particulier l'acquisition de six dynamos ou moteurs de diverses puissances et de divers types, et d'un très grand nombre d'appareils de mesure de toute espèce dont l'énumération serait fastidieuse.

» 2° *Enseignement.* — Aucun changement notable n'est à signaler cette année dans notre enseignement, qui s'est développé régulièrement et s'est maintenu à ce niveau à la fois élevé et pratique qui lui a donné sa juste renommée.

» 3° *Voyage d'études.* — Le voyage d'études s'est effectué à peu près suivant le programme des années précédentes; comme l'année dernière, M. Mazen a bien voulu l'accompagner en partie, pour le plus grand profit de nos élèves; M. Landry, professeur à l'Université de Lausanne, a consenti à faire spécialement pour eux, dans cette ville, une conférence sur la question si controversée encore du retour par la terre; nous l'en remercions ici bien sincèrement. Trois bourses nous ont été accordées pour permettre ou faciliter le voyage à un certain nombre de nos élèves dignes d'intérêt; ces bourses nous ont été offertes par MM. Bochet et Picou, et par les élèves eux-mêmes; nous tenons à leur exprimer ici notre gratitude.

» 4° *Promotion XIV (1907-1908).* — Il a été délivré, à la fin de

juillet, 92 diplômes se répartissant ainsi :

Anciens élèves médaillés des Écoles nationales d'Arts et Métiers...	16
Licenciés ès sciences.....	15
Anciens élèves de l'École Polytechnique.....	10
Élèves étrangers, diplômés d'Écoles techniques supérieures.....	8
Officiers et ingénieurs délégués par les ministères.....	6
Officiers de marine.....	6
Ingénieurs des Arts et Manufactures.....	3
Ingénieurs civils des Mines.....	2
Ancien élève de l'École du Génie maritime.....	1
Élèves reçus au concours.....	25
	92

» 5° *Promotion XV* (1908-1909). — La promotion actuellement en cours d'études comprend 126 élèves et a la composition suivante :

Anciens élèves médaillés des Écoles nationales d'Arts et Métiers..	19
Licenciés ès sciences.....	18
Anciens élèves de l'École Polytechnique.....	14
Officiers et ingénieurs délégués par les ministères.....	12
Ingénieurs des Arts et Manufactures.....	10
Officiers de marine.....	10
Élèves étrangers, diplômés d'Écoles techniques supérieures.....	7
Ingénieurs de la Marine.....	2
Officier de l'armée de terre.....	1
Ingénieur civil des Mines.....	1
Élèves reçus au concours (sur 157 candidats).....	32
	126

» A ces élèves réguliers il convient d'ajouter 11 auditeurs libres suivant en tout ou en partie notre enseignement.

» Comme chaque année, l'École du Génie maritime a fait effectuer à ses élèves, dans nos laboratoires ou salles de machines, un certain nombre de mesures et essais électriques.

» 6° *Concours d'entrée*. — Pour la première fois en octobre 1908, le concours d'entrée a comporté une épreuve orale portant sur la résistance des matériaux; cette épreuve est subie non seulement par les candidats reconnus admissibles après les compositions écrites, mais encore par les licenciés ès sciences pourvus des certificats de Mécanique rationnelle et de Physique générale; cette dernière catégorie de candidats doit donc aujourd'hui subir pour

entrer à l'École les deux épreuves de dessin industriel et de résistance des matériaux. Le Conseil de l'École a désigné comme examinateur, pour cette partie importante du programme, M. Birault, répétiteur à l'École Centrale, dont la compétence en ces matières est bien connue.

» 7° *Anciens élèves.* — Le nombre total des anciens élèves ayant passé par l'École supérieure d'Électricité depuis sa fondation est de 927, sur lesquels 768 ont obtenu le diplôme. Autant que nous pouvons en juger, les situations occupées actuellement par ces derniers se décomposent ainsi :

Ateliers et maisons de construction	247
Armée, Marine, Télégraphes (officiers et ingénieurs)	89
Stations centrales	83
Enseignement et laboratoires	51
Chemins de fer	50
Ingénieurs-conseils	33
Électrochimie et électrometallurgie	28
Travaux publics	24
Tramways	21
Mines	21
Automobilisme	15
Divers	29
Situations inconnues	63
Décédés	14
Total	768

» 8° *Exposition et Congrès de Marseille.* — L'École supérieure d'Électricité a présenté à l'Exposition d'Électricité de Marseille une remarquable collection de travaux d'élèves, de cours autographiés et de documents divers; son directeur a eu l'honneur de présider le Jury des récompenses de la classe de l'Enseignement. L'École a également pris une part active au Congrès international des Applications de l'Électricité qui s'est tenu à Marseille à l'occasion de l'Exposition; son directeur a eu l'honneur d'être désigné comme premier vice-président de la Commission d'organisation, puis comme vice-président du Congrès et président de la section de l'Enseignement. A cette section, j'ai présenté, en collaboration avec M. H. Chaumat, sous-directeur de l'École, un Mémoire

étendu sur l'organisation des Écoles électrotechniques dans le monde entier.

» 9° *Société amicale des anciens élèves sortant de l'École supérieure d'Électricité.*— Cette Société, qui compte actuellement 350 membres, continue à rendre les plus grands services à nos anciens élèves en facilitant leur placement; elle a, cette année, publié un document extrêmement précieux et établi avec un grand soin : c'est la liste générale de tous les anciens élèves diplômés de l'École, faisant ou non partie de l'Association, et des situations occupées par eux dans l'industrie. Ce document est précieux à consulter et est le plus bel éloge qui puisse être fait de l'École, en montrant la diversité et l'importance des situations de nos anciens élèves qui sont actuellement répandus dans le monde entier.

» Le Laboratoire et l'École ont fait en 1908 une perte irréparable en la personne de M. Mascart. Comme vous le savez, M. Mascart était le créateur et l'âme même, si l'on peut dire, de ces deux institutions; président de la Commission administrative du Laboratoire et du Conseil de l'École, il nous apportait, dans ces deux assemblées, l'appui de sa haute autorité et d'un dévouement inépuisable; mais nous avons le droit de dire qu'il n'a pas disparu tout entier, les fondements qu'il a établis sont solides, et nous conservons précieusement son esprit et ses traditions; sous la présidence de son éminent successeur, M. E. Bouty, membre de l'Institut, qui a été unanimement désigné pour le remplacer, nous continuerons tous nos efforts pour développer et accroître la prospérité des deux institutions qui nous sont chères. »

M. le PRÉSIDENT remercie MM. Eschwège, Armagnat et P. Janet.

M. le PRÉSIDENT invite les Sociétaires qui n'ont pas envoyé leur bulletin de vote pour le renouvellement statutaire des Membres du Bureau et du Comité, à venir le déposer dans l'urne; à cet effet, il déclare la séance suspendue pendant 10 minutes.

Des bureaux de scrutin sont constitués.

A la reprise de la séance et durant que s'effectue le dépouillement du vote, il est donné suite à l'ordre du jour, qui appelle les Communications techniques.

SITUATION FINANCIÈRE.

COMPTES DE L'EXERCICE 1908

CRÉDIT.

DÉBIT.

I. — Services généraux.

Cotisations libérées.....	fr 2250,00	Bulletin.....	fr 18,85,38
Cotisations de l'exercice.....	28840,00	Frais d'administration.....	2189,20
Intérêts.....	1562,90	Personnel.....	9367,00
Produits du Bulletin.....	7776,35	Frais de correspondance.....	840,10
Profits et pertes.....	61,45	Frais de réunions.....	860,00
Dons avec affectations spéciales...	8723,00	Commission électrotechnique.	1400,00
Dons d'Ouvrages divers.....	430,00	Subvention au Laboratoire....	8723,00
Legs Cheux.....	903,45	Bibliothèque.....	825,65
Intérêts du legs Hughes.....	1500,00	Cotisations irrécouvrables....	980,00
Intérêts du legs Cheux.....	2733,50	PlACEMENT au fonds social.....	3153,45
		Bourse Hughes.....	1800,00
		Emploi de la fondation Cheux..	13,80
		Amortissement :	
		Bibliothèque.....	430,00
		Solde créditeur.....	fr 5366,07
			54783,65

II. — Laboratoire.

Arrérages de la rente.....	fr 7903,00	Frais d'opérations et essais taxés :	
Redevances pour essais et étalonnements.....	49165,15	Machine à vapeur, moteurs à gaz et électrique.....	fr 4885,35
Redevances des élèves et tiers...	1803,00	Produits.....	1256,45
Ministère de la Marine.....	4600	Atelier.....	557,40
Profits et pertes.....	768,90	Déplacement du personnel..	4084,15
Subvention de la Société.....	8723,00	Personnel.....	fr 10783,35
Amortissement :		Frais d'administration :	33942,60
Ministère du Commerce.....	5000,00	Frais de bureau, correspondance et divers.....	1604,30

391,00	
5637,65	
742,75	
2315,90	
2216,35	
8723,00	
2379,30	
5000,00	
6202,15	^{fr} 77963,05

III. — École.

Redevances des élèves :	
Frais d'études.....	11831,75
Fournitures diverses.....	6137,75
Souscriptions.....	13250,00
Subvention de la Ville de Paris.....	4000,00
Intérêts.....	783,00
Profits et pertes.....	756,05
	^{fr} 143258,55

Personnel.....	^{fr} 49979,20
Travaux des élèves :	
Machine à vapeur, moteurs à gaz et électrique.....	3513,70
Produits.....	1375,05
Atelier.....	2732,20
Frais de conférences.....	26556,80
Fournitures diverses.....	4906,90
Frais d'administration :	
Frais de bureau, correspondance et divers.....	2136,75
Chauffage, éclairage.....	2918,30
Entretien des bâtiments.....	5055,05
Entretien des machines et appareils.....	2994,25
Impôts, assurances.....	3161,10
Exposition.....	2012,25
Acquisition d'instruments et matériel.....	1586,85
Placement au fonds de réserve.....	14198,50
	10002,65
Solde créditeur.....	^{fr} 15184,05
	<u>143258,55</u>
	276005,25

**APPAREIL POUR LA MESURE DES COURANTS TÉLÉPHONIQUES ET, EN GÉNÉRAL,
DES COURANTS PÉRIODIQUES DE GRANDE FRÉQUENCE ET DE TRÈS FAIBLE
INTENSITÉ.**

M. RICCARDO ARNÒ. — « Messieurs, j'ai déjà communiqué les résultats des nombreuses recherches que j'ai entreprises pour l'étude des variations de l'hystérésis magnétique, présentées par un corps magnétique placé dans un champ magnétique tournant et soumis à l'action de courants alternatifs ou variables d'une manière quelconque.

» J'ai constaté que, lorsqu'un disque ou un cylindre magnétique placé dans un champ magnétique tournant est soumis à l'action de courants périodiques, même de faible intensité, on obtient une sensible variation (augmentation ou diminution d'hystérésis, suivant les différentes conditions de l'essai) du retard avec lequel l'aimantation du disque ou du cylindre suit la rotation du champ magnétique tournant où le disque ou bien le cylindre a été plongé.

» On constatera aisément cette variation du cycle d'hystérésis que provoque l'action de ces courants — si le corps magnétique est suspendu dans le champ tournant — par une variation très sensible de la déviation de l'équipage mobile de l'appareil. Les autres conditions étant d'ailleurs les mêmes, cette action est d'autant plus grande que la fréquence des courants périodiques est plus grande; de sorte que, s'il s'agit d'un courant d'une assez ou d'une très grande fréquence, le phénomène est encore sensible, même lorsque l'intensité du courant est très faible, comme lorsqu'il s'agit de courants téléphoniques, ou extrêmement faible, comme c'est le cas des ondes hertziennes.

» Dans ces cas, en effet, et précisément si l'intensité du courant secondaire est inférieure à une certaine limite — condition qui est d'ailleurs toujours satisfaite lorsqu'on emploie les courants téléphoniques ou les ondes hertziennes — la variation de l'hystérésis du corps magnétique sur lequel on expérimente, qui est alors toujours une augmentation d'hystérésis, augmente — les autres

circonstances étant d'ailleurs les mêmes — avec la fréquence du courant sur lequel on expérimente.

» Voici, en abrégé, les principaux résultats des recherches sur le phénomène de la variation de l'hystérésis dans un cylindre d'acier, placé dans un champ magnétique tournant, soumis à l'action de courants interrompus, alternatifs, ou variables d'une façon quelconque, ou bien d'ondes hertziennes.

» 1° Pour des champs magnétiques tournants suffisamment intenses, on constate toujours une diminution du retard de l'aimantation dans le cylindre de matériel magnétique; cette diminution d'hystérésis est d'autant plus grande que l'intensité du champ tournant agissant sur le cylindre est plus grande, et que l'intensité du champ magnétique secondaire, produit par le courant variable agissant sur le cylindre, est plus grande.

» 2° Pour des champs magnétiques tournants de faible intensité, on constate une augmentation ou une diminution du retard entre l'aimantation du cylindre d'acier et la direction du champ où il est placé, et précisément on trouve une augmentation d'hystérésis tant que l'intensité du champ magnétique secondaire n'a pas dépassé une certaine valeur donnée, à partir de laquelle on trouve au contraire une diminution d'hystérésis.

» 3° Toutes les conditions de l'expérience étant les mêmes, il y a toujours une valeur de l'intensité du champ magnétique tournant dans lequel est placé le cylindre soumis à l'action du courant périodique, pour laquelle on a le maximum de l'augmentation de l'hystérésis, et une valeur de l'intensité du champ tournant pour laquelle on n'a ni augmentation ni diminution d'hystérésis dans la substance magnétique essayée.

» 4° Lorsqu'on a affaire à des champs magnétiques tournants de faible intensité, à chaque intensité du champ tournant sur lequel on expérimente correspond, toutes choses égales d'ailleurs, une valeur de l'intensité du champ magnétique secondaire pour laquelle on obtient le maximum de l'augmentation de l'hystérésis, et une valeur de l'intensité du champ magnétique secondaire pour laquelle on n'a ni augmentation ni diminution de l'hystérésis dans le matériel magnétique soumis à l'essai.

» 5° L'augmentation du retard de l'aimantation, les autres con-

ditions restant les mêmes, est d'autant plus grande que la fréquence du courant périodique employé est plus grande. Et, par contre, la diminution du retard de l'aimantation, les autres conditions restant les mêmes, est d'autant plus grande que la fréquence du courant périodique est plus petite.

» 6° Lorsque le cylindre de substance magnétique soumis à l'action du courant périodique d'une fréquence donnée, dans certaines conditions, ne donne ni augmentation ni diminution d'hystérésis, si l'on répète l'essai dans les mêmes conditions, mais avec des courants périodiques d'une plus grande fréquence, on a une augmentation de l'hystérésis.

» *Vice versa*, lorsque le cylindre de matériel magnétique, soumis à l'action d'un courant périodique d'une fréquence donnée, dans certaines conditions, ne donne ni augmentation d'hystérésis ni diminution d'hystérésis, si l'on répète l'essai dans les mêmes conditions, mais avec des courants périodiques d'une fréquence plus petite, on a une diminution de l'hystérésis.

» 7° On constate qu'en faisant l'essai avec un courant périodique d'une fréquence donnée et obtenant une diminution d'hystérésis, si l'on répète l'essai avec des courants d'une plus grande fréquence, toutes les autres conditions de l'essai étant les mêmes, on peut obtenir une augmentation du retard de l'aimantation dans le cylindre magnétique.

» On constate aussi qu'en faisant l'essai avec un courant périodique d'une fréquence donnée et obtenant une augmentation d'hystérésis, si l'on répète l'essai avec des courants d'une fréquence plus petite, toutes les autres conditions de l'essai restant les mêmes, on peut obtenir une diminution du retard de l'aimantation dans le cylindre magnétique.

» 8° Enfin les effets d'un courant alternatif donné, sur le cycle d'hystérésis de l'acier, sont différents suivant la fréquence du champ magnétique tournant où est suspendu le cylindre de matériel magnétique.

» D'après ces principes, j'ai étudié et construit un appareil qui peut déceler, mesurer et enregistrer aussi bien les courants téléphoniques que les ondes hertziennes.

» Cette Communication a donc pour but la description de nouvelles dispositions de l'appareil dont il est question, et qui lui ont donné une sensibilité beaucoup plus grande que celle du premier modèle, dont je vais rappeler ici la disposition générale.

» Deux champs magnétiques, tournant en sens contraires, de même intensité et de même fréquence, agissent chacun sur l'un des deux petits cylindres creux en acier, montés sur le même axe de rotation, constituant l'équipage mobile de l'appareil. Un de ces deux cylindres peut être soumis, en même temps, à l'action d'un champ magnétique secondaire, obtenu par le système des ondes hertziennes ou par le courant téléphonique qui traverse une bobine spéciale, entourant le cylindre et coaxiale au cylindre même.

» Dans ces conditions, l'hystérésis du cylindre subit une certaine variation, et comme l'autre cylindre suit toujours, avec le même retard d'aimantation, la rotation de son champ, l'équipage mobile dévie.

» Dans l'appareil primitif, on obtenait chacun des champs tournants à l'aide d'un système de trois bobines, à noyaux en fer, respectivement parcourues par trois courants alternatifs égaux décalés de phase l'un par rapport à l'autre de 120° , et empruntés à un système triphasé ordinaire. Pour une même fréquence des champs magnétiques tournants et pour une intensité et une fréquence données du champ magnétique secondaire, l'intensité des champs tournants joue certainement un rôle considérable : si l'on augmente cette intensité, on a une augmentation, jusqu'à une certaine limite, de la déviation de l'équipage mobile. Cette limite, d'autre part, dépend aussi de la sensibilité mécanique de l'appareil, et elle diminue autant que la sensibilité mécanique augmente.

» J'ai en effet constaté qu'en disposant l'appareil dans les meilleures conditions de sensibilité mécanique, c'est-à-dire en employant un équipage mobile très léger, porté par une simple suspension bifilaire, les autres conditions étant d'ailleurs les mêmes, il est bien vrai que la déviation augmente avec l'intensité des champs tournants; mais toutefois la limite maxima de cette intensité diminue, à cause de la légèreté de l'équipage mobile qui, pour des champs un peu intenses, est dévié de la verticale de la suspension.

» Cette observation m'a conduit à diminuer d'abord les dimensions de l'appareil, et ensuite à supprimer les noyaux en fer des

trois bobines composant chaque champ tournant. Par conséquent, l'appareil a été de beaucoup simplifié; et cette simplicité de construction m'a permis d'augmenter considérablement sa sensibilité. En effet, à cause de ses dimensions réduites, la place dans laquelle tourne l'équipage mobile est réduite elle aussi au minimum, favorisant de la sorte l'action du flux magnétique.

» L'emploi d'un système triphasé pour la production des champs tournants donne lieu à des difficultés, car il n'est pas toujours facile d'avoir à sa disposition des courants triphasés. D'ailleurs, on peut avoir un champ tournant par la combinaison de deux champs alternatifs égaux, disposés à 90° , et dont l'un présente un retard de phase d'un quart de période sur l'autre.

» C'est cette dernière solution que je viens d'adopter pour avoir les deux champs qui constituent la partie principale de l'appareil, solution qu'on peut facilement obtenir par un simple système monophasé.

» Le dernier modèle de l'appareil, que j'ai l'honneur de vous montrer, présente en effet un tel circuit magnétique. Et c'est principalement dans le but d'augmenter notamment la sensibilité de l'appareil, que j'ai remplacé chacun des deux cylindres de substance magnétique, respectivement placés dans les deux champs magnétiques tournant en sens contraires, par un petit fil de substance magnétique, ou bien par un petit tube, ou par une petite spirale, ou par un très mince ruban d'acier, enroulé sur l'arbre même de l'équipage mobile de l'appareil, ou bien encore par une autre disposition analogue quelconque.

» Dans le révélateur d'ondes hertziennes, la bobine qui doit être parcourue par le système des ondes électromagnétiques, sur lequel on expérimente, sera alors constituée d'une façon analogue à celle des détecteurs magnétiques employés dans la télégraphie sans fil, c'est-à-dire d'un fil conducteur d'un diamètre convenable, et d'un nombre tel de spires, qu'elle puisse présenter l'impédance nécessaire à ce que tout le système des appareils de la station réceptrice soit en résonance avec celui de la station génératrice. Dans le galvanomètre téléphonique, la bobine qui doit être parcourue par le courant téléphonique aura une résistance approximativement égale à la résistance d'un récepteur téléphonique.

» Les figures 1 et 2 montrent comment l'appareil peut se pré-

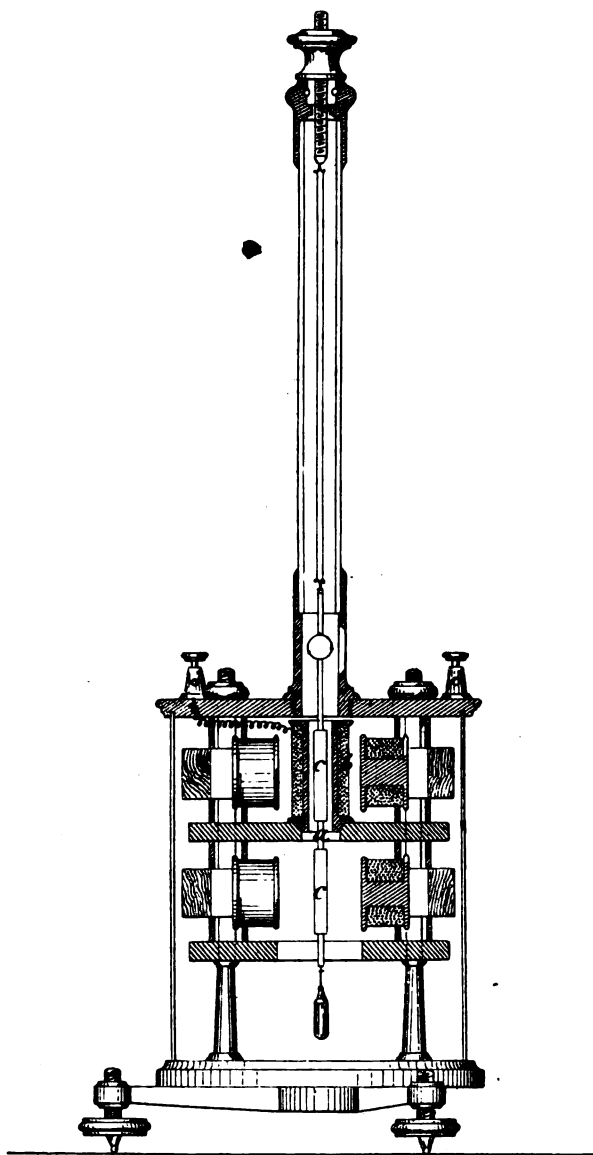


Fig. 1.

senter d'une façon pratique pour être employé en téléphonie et en télégraphie sans fil.

» Dans ce but, il sera constitué essentiellement d'un équipage mobile, composé par deux petits fils ou par de petits tubes ou de

petites spirales, etc., de matériel magnétique c , solidaires entre eux par l'intermédiaire du même axe de rotation a , et placés respectivement dans deux champs magnétiques, de la même intensité et tour-

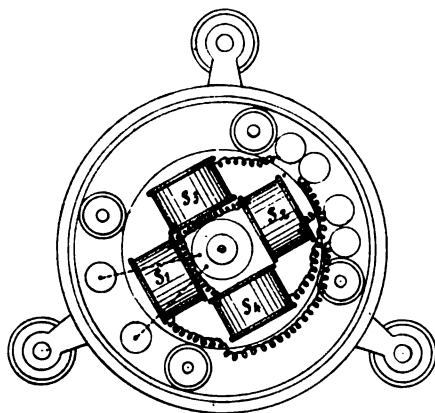


Fig. 2.

nant en sens contraires, de façon à équilibrer leurs couples sur l'équipage mobile, lequel en conséquence est dans ces conditions en repos.

» Un des deux petits fils, ou une des deux petites spirales, ou un des petits tubes c de substance magnétique, par exemple celui qui est au-dessus, peut être soumis à l'action du champ magnétique tournant correspondant, en même temps qu'à l'action d'un autre champ secondaire produit par le courant téléphonique, ou bien par le système des ondes électromagnétiques, qu'on envoie dans la petite bobine b , coaxiale avec l'arbre de l'appareil et dont les deux extrémités communiquent respectivement — dans le cas de la mesure des courants téléphoniques — avec les extrémités de l'appareil générateur du courant téléphonique même, et, dans le cas de la mesure des ondes hertziennes, avec l'antenne et la terre. Chacun des deux champs tournants est obtenu à l'aide d'un système de deux paires de bobines S_1, S_2 et S_3, S_4 , dérivées sur un système monophasé, placées à angle droit l'une par rapport à l'autre, et respectivement parcourues par deux courants alternatifs de même intensité et décalés de phase de 90° l'un par rapport à l'autre.

» Le décalage de phase des deux courants, parcourant respectivement les deux paires de bobines S_1, S_2 et S_3, S_4 , a été d'abord obtenu

exactement de 90° à l'aide d'une capacité convenable. Mais ensuite, pour simplifier la construction de l'appareil, j'ai remplacé la capacité par une bobine inductive correspondante. Dans ce cas, il est bien vrai qu'on obtient des champs tournants elliptiques, mais on peut néanmoins avoir un décalage de phase suffisant pour donner à l'appareil la même sensibilité, les autres conditions étant les mêmes.

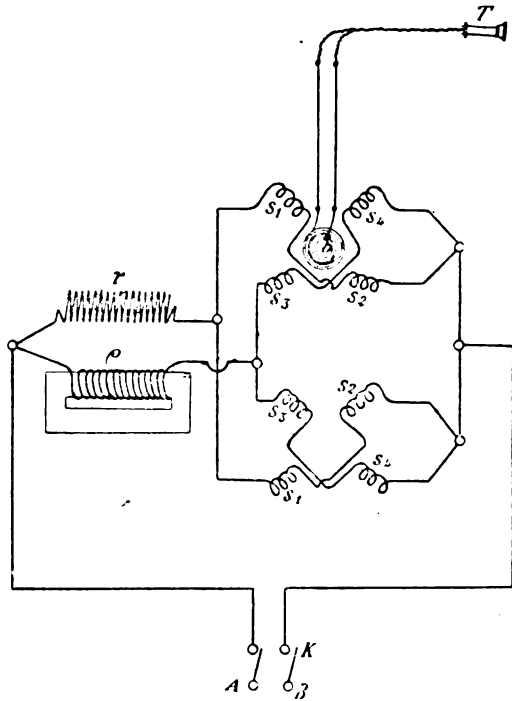


Fig. 3.

» La figure 3 donne la disposition schématique générale de l'appareil monté pour fonctionner avec un courant alternatif simple.

- » A et B sont les prises de ce courant ;
- » K est une clef pour couper le circuit ;
- » r est une résistance ohmique ;
- » p une résistance inductive ;
- » S_1, S_2, S_3, S_4 sont les deux paires de bobines parcourues par les deux courants, qui engendrent chacun des deux champs tournants supérieur et inférieur identiques de l'appareil ;

- » b est la bobine téléphonique secondaire ;
- » T est un téléphone ordinaire.

» Les deux résistances ohmique r et inductive ρ ont une extrémité commune, reliée à la prise de courant A. Alors le courant provenant de A se partage dans les deux résistances r et ρ , qui sont calculées de façon à avoir la même intensité de courant dans les deux branches égales qui vont suivre, en même temps qu'un décalage de phase entre les deux courants dérivés.

» Le courant traversant r parcourt les deux paires de bobines S_1, S_2 placées en face l'une de l'autre de chacun de deux champs supérieur et inférieur. Le courant décalé, traversant ρ , parcourt les deux autres paires de bobines S_3, S_4 (de chacun des deux champs), qui sont placées à 90° par rapport aux bobines S_1, S_2 . Les extrémités de sortie du courant aboutissent toutes à un point commun, relié par un conducteur à l'autre prise de courant B.

» Par suite du fort décalage obtenu à l'aide de résistance inductive ρ , on a deux champs magnétiques tournants, supérieur et inférieur, qui sont parfaitement égaux. Mais, puisque les connexions des bobines du champ inférieur sont interverties par rapport à celles du champ supérieur, chacun des deux champs tourne en sens contraire par rapport à l'autre.

» L'équipage mobile, constitué par les deux cylindres fixés sur le même axe et suspendus au centre des champs, restera donc en équilibre sous les actions égales et contraires des deux champs.

» La bobine téléphonique b est placée dans le champ supérieur, et elle reçoit du téléphone T le courant téléphonique agissant sur le cylindre, entouré par ladite bobine et plongé dans le champ tournant supérieur.

» Je suis donc arrivé à un modèle de galvanomètre téléphonique simple, pratique et très sensible, tel que, si l'on place l'appareil en série avec un simple téléphone Bell (récepteur), en ajoutant encore en série une résistance ohmique de 100000 ohms, l'équipage mobile donne une déviation parfaitement évidente, par suite du courant qu'on produit en parlant dans le simple téléphone (*).

(*) L'appareil, présenté fonctionnant à l'Assemblée, a été construit dans le Laboratoire d'Électrotechnique de l'Institut technique supérieur de Milan. Un autre modèle

» Avec une telle disposition de l'appareil, j'ai encore pu constater que, lorsqu'un système d'ondes électromagnétiques envoyé par une petite station génératrice (actionnée par une petite bobine de Ruhmkorff, alimentée par une pile ou un accumulateur) traverse la bobine *b* de l'appareil, on obtient une déviation très sensible de l'équipage mobile, même si l'appareil est placé à une distance relativement grande par rapport à la station génératrice.

» Cette expérience montre que la sensibilité de l'appareil est telle, que l'appareil même pourra aussi avoir des applications importantes dans la télégraphie sans fil ; car, lorsqu'il aura été construit de façon à avoir une très grande sensibilité, on pourra peut-être l'employer comme révélateur, et certainement il pourra servir pour comparer entre eux les pouvoirs d'émission de différents radiateurs ou transmetteurs pour télégraphie sans fil par ondes hertziennes.

» Après la construction du modèle téléphonique de mon appareil, je suis en train de faire une longue série d'essais méthodiques sur l'appareil même pour en déterminer les propriétés quantitatives des différentes conditions de fonctionnement, soit en fonction de la fréquence, soit en fonction de l'intensité des champs magnétiques tournants agissant dans l'appareil.

» Pour donner un exemple assez précis de la portée quantitative de mon instrument, je me permets de vous montrer la courbe (*fig. 4*) d'un essai ⁽¹⁾, d'où il résulte encore une comparaison assez intéressante, je crois, entre mon galvanomètre téléphonique et le thermogalvanomètre de Duddell, puisque, pour la disposition du circuit que nous allons voir, le même courant d'essai traverse en même temps les deux appareils.

» Voici les données principales de l'instrument employé pour cet essai et du circuit établi aussi avec le thermogalvanomètre de Duddell :

» *Conditions du galvanomètre téléphonique : Champs. — Bobines*

a été construit par la maison Ducretet et Roger, de Paris, bien connue pour la précision et le soin dans la construction de ses appareils.

(¹) Les études et les essais ont été faits dans le Laboratoire d'Électrotechnique de l'Institut technique supérieur de Milan, avec la collaboration des ingénieurs MM. Comboni et Giulietti, auxquels je désire présenter tous mes remerciements.

des champs tournants, 2500 spires chacune; courant monophasé, fréquence 42; intensité du courant du champ, environ 50 milliam-pères.

» *Bobine secondaire téléphonique.* — Résistance, 85,5 ohms, la même que celle de la bobine du thermogalvanomètre de Duddell.

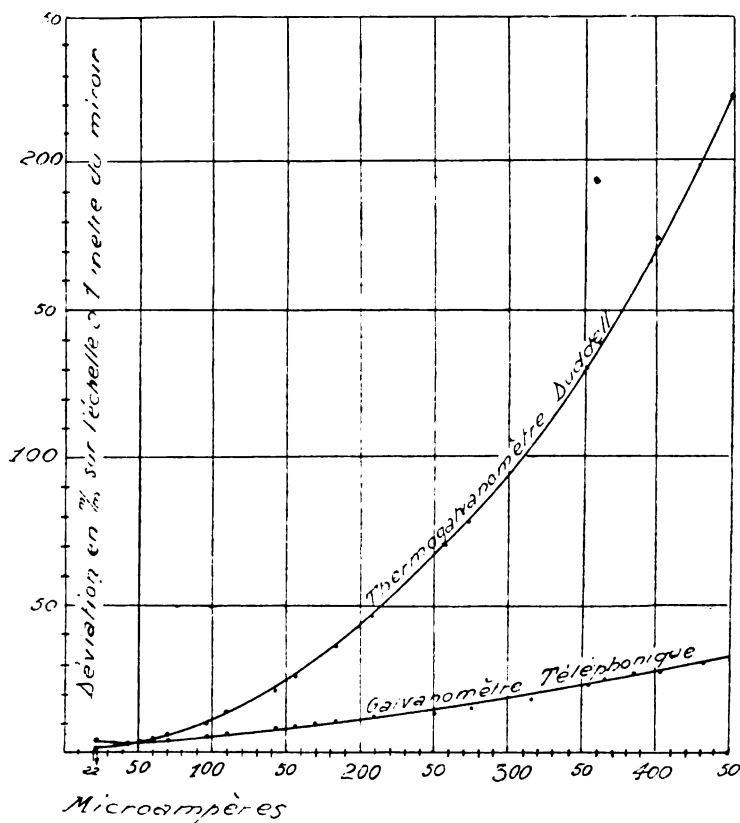


Fig. 4.

» *Conditions du thermogalvanomètre de Duddell.* — Bobine de chauffage de 85,5 ohms de résistance.

» *Courant essayé.* — Courant alternatif simple — produit par un convertisseur ronfleur de Siemens, d'environ 700 périodes à la seconde — assez semblable à un courant téléphonique.

» *Circuit d'essais.* — Les deux appareils à réflexion sont disposés de façon à avoir leurs échelles respectives à 1 m de distance des

miroirs correspondants. La bobine de l'appareil, montée en série avec celle du thermogalvanomètre de Duddell, est alimentée par le même courant produit par le convertisseur ronfleur Siemens; le réglage de l'intensité de ce courant est fait à l'aide des boîtes de résistance réglables, en série avec les bobines des deux appareils. Un dispositif de commutation permet d'étalonner chaque fois le thermogalvanomètre par un courant continu produit par une source constante de différence de potentiel connue à travers des résistances de précision.

» Les deux courbes reproduites ci-contre montrent la loi que suivent les déviations des deux appareils, en même temps qu'elles font ressortir la comparaison entre eux, qui donne lieu aux considérations suivantes :

» Dès le début des deux courbes, on voit que, pour un courant d'environ 22 microampères, on a dans le thermogalvanomètre une petite déviation, d'environ 1 mm, tandis que le galvanomètre téléphonique donne environ 3 mm, presque le triple de l'autre.

» Ensuite, comme les déviations du thermogalvanomètre sont proportionnelles aux carrés des intensités, sa courbe se relève paraboliquement, tandis que celle du galvanomètre téléphonique monte graduellement d'une façon presque linéaire, croisant l'autre en un point correspondant à un courant de 42 microampères. Il faut rappeler ici que, par suite des conditions d'essai dont nous venons de parler, la déviation de l'équipage mobile du galvanomètre téléphonique se produit toujours dans le même sens, c'est-à-dire dans le sens de rotation du champ magnétique tournant où est placé le petit cylindre d'acier, soumis à l'action de la bobine téléphonique qui l'entoure, et cela, comme je l'ai déjà dit, parce que, lorsqu'on a affaire à des courants d'une fréquence assez élevée et de petite intensité, on a toujours augmentation d'hystérésis.

» Et puisque les déviations de mon appareil suivent une loi presque linéaire, l'appareil pouvant être considéré comme un instrument à déviations proportionnelles, il s'ensuit que l'amplitude de l'échelle du galvanomètre téléphonique est beaucoup plus grande que celle du thermogalvanomètre Duddell, dont les déviations sont proportionnelles aux carrés des intensités du courant.

» Mes essais nous ont montré que lorsqu'il s'agit de courants

d'une fréquence considérable, et particulièrement lorsqu'on a affaire à des courants téléphoniques, l'appareil a une sensibilité supérieure à celle du galvanomètre thermique de Duddell.

» Mais, d'après ce que je viens d'exposer sur les propriétés très nombreuses et différentes de mon appareil, il est évident qu'on pourra parvenir à des résultats beaucoup plus intéressants si l'on modifie les conditions du fonctionnement de l'appareil même, c'est-à-dire si l'on change, par exemple, l'intensité ainsi que la fréquence des champs magnétiques tournants.

» A cet égard, je m'empresse de vous faire observer que, dans le cas du galvanomètre thermique de Duddell, la sensibilité est presque toute empruntée à la perfection mécanique des détails de construction de l'appareil (couple thermo-électrique à part). Par conséquent, il est d'un prix élevé et d'un emploi assez difficile. Au contraire, bien que mon appareil soit d'une plus grande sensibilité, comme nous venons de le voir, il peut être construit à peu de frais, grâce à son extrême simplicité de construction : et il peut aussi être employé très aisément comme un ordinaire appareil à réflexion.

» Messieurs, je vous remercie de l'obligeance que vous avez eue de suivre avec une attention si courtoise la description de l'appareil que j'ai eu l'honneur de vous présenter. Votre complaisance, fait naître en moi les sentiments de la plus vive reconnaissance, et de mon cœur partent des ondes de gratitude qui vont certainement jusqu'aux vôtres. Ces ondes portent aussi mes vœux pour le bonheur et la prospérité toujours croissante du beau et hospitalier pays de France. »

M. le PRÉSIDENT. — « Je n'ai pas besoin d'insister auprès de vous, Messieurs, sur l'intérêt que présente la Communication de M. Riccardo Arnò. Voici la troisième fois que M. Arnò veut bien venir d'Italie pour nous présenter ses remarquables découvertes. Je constate qu'il maintient sa réputation d'un digne élève du professeur Ferraris. » (*Applaudissements.*)

**SUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE PAR LE COURANT CONTINU
A INTENSITÉ CONSTANTE.**

M. J. BOURDEL. — « Monsieur le Président, Messieurs,

» Lors du récent Congrès de l'Électricité tenu à Marseille, M. Tissot, vice-président de la Commission suisse d'Études pour la Traction électrique, a présenté à la sixième Section, où nos Collègues étaient groupés particulièrement nombreux autour de notre éminent président M. Boucherot, un Rapport très documenté relatif à la comparaison des divers systèmes de traction électrique. Au début de cet important travail, après avoir fait figurer en classification générale la traction par moteurs à courant continu à intensité constante, le rapporteur signale que ce système n'a été encore appliqué qu'au seul petit tramway de Northfleet, près de Londres, et que, bien que M. Potterat, ingénieur à Berne, ait imaginé des dispositions et un appareillage rendant possible son application à la traction sur les voies ferrées, il se voit dans l'obligation de laisser de côté dans son étude un tel système qui n'est pas encore sanctionné par une expérience suffisante. Il reconnaît toutefois que, si la pratique le consacrait, ce système présenterait beaucoup d'avantages; ce sont ces avantages que je désire vous rappeler brièvement en vous mettant en même temps au courant des ingénieuses solutions trouvées par M. Potterat pour rendre possible ce système dont l'application, à première vue, ne laisse pas de paraître délicate.

» Le mode de distribution par le courant continu à intensité constante consiste, comme vous le savez déjà, à alimenter un certain nombre de moteurs placés tous en série sur la même ligne; le courant qui les traverse est maintenu constant à l'usine génératrice; ce qui varie, c'est donc la tension à leurs bornes. Cette distribution n'offre pas de difficultés spéciales d'exécution lorsqu'il s'agit d'alimenter des moteurs fixes; aussi a-t-elle été fréquemment employée depuis 1889, époque à laquelle ce système fut appliqué par M. Thury dont il prit bientôt le nom; depuis ce moment, l'importance des installations exécutées sous la direction de cet ingénieur par la

Compagnie « L'Industrie électrique et mécanique de Genève » n'a fait que croître, et il me suffira de vous rappeler comme distributions principales :

» 1° Celle de la commune de Lausanne : ligne Saint-Maurice-Lausanne, 6000 chevaux transportés à 56 km, avec une intensité de 150 ampères et une tension maximum de 27 000 volts;

» 2° Celle de la Société grenobloise de Force et Lumière : ligne Moutiers-Lyon, 6300 chevaux transportés à 180 km, avec une intensité de 75 ampères et une tension maximum de 57 000 volts.

» Mais ce mode de distribution, qui présente même la solution la plus élégante du transport de force proprement dit, est plus délicat à appliquer à la traction électrique, qui n'est pourtant autre chose qu'un transport de force simple de l'usine génératrice aux quelques trains simultanément en marche sur la ligne : le problème se complique du fait qu'il s'agit de mettre en série des moteurs qui sont eux-mêmes en mouvement. Et pourtant, que d'avantages bien précieux au point de vue traction sont offerts par ce système ! Tout d'abord, le moteur série a un excellent rendement qui reste élevé même à demi-charge ; en outre, comme le couple d'un moteur série dépend seulement de l'intensité du courant qui le traverse, on voit que, dans ce système, le couple, c'est-à-dire l'effort de traction, sera constant pour un calage déterminé des balais ; le voltage aux bornes varie avec la vitesse et augmente en même temps qu'elle. Au moment du démarrage, le voltage étant presque nul, il suffit de rompre le court-circuit en ouvrant l'interrupteur du moteur sans interposition d'aucune résistance ou d'aucun appareil ; il ne se produira aucun à-coup à l'usine génératrice. Le démarrage simultané d'un nombre quelconque de trains est ainsi possible sans aucun inconvénient.

» Le réglage du couple et, par conséquent, de la vitesse du moteur se fait en modifiant seulement le calage des balais ; en agissant sur ceux-ci, on peut faire diminuer l'effort de traction depuis sa valeur maximum jusqu'à zéro, puis lui donner une valeur négative de zéro à son maximum. Le décalage des balais permet donc le freinage direct et la récupération complète de l'énergie sans aucune disposition spéciale. L'absence de tout appareillage compliqué et la simplicité des manœuvres qui caractérisent le système série sont particulièrement appréciables dans le cas de la traction électrique,

et le service du wattman en est singulièrement facilité. Pour le départ, il insérera sur la ligne les moteurs de la locomotive, puis, au moyen du volant de commande des porte-balais, il fera varier l'effort de traction et par suite la vitesse de marche; sur une pente ou pour provoquer l'arrêt en gare, il mettra les balais plus ou moins sur la marche arrière.

» Il n'aura donc plus à manœuvrer qu'à la manière d'un mécanicien de locomotive à vapeur avec un interrupteur comme régulateur et un volant de commande des balais comme secteur de détente, changement de marche et frein; mais il est à remarquer que le décalage des balais est un moyen beaucoup plus précis que le réglage de l'admission aux cylindres et que l'emploi de la contre-vapeur par renversement de la marche dans les locomotives à vapeur n'est pas sans danger, à moins de dispositions spéciales.

» La prise de courant présente dans un tel système une importance capitale; la solution la plus simple consiste évidemment (*fig. 1*) à sectionner le conducteur principal c en tronçons tels

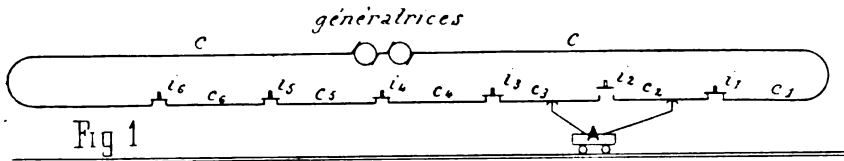


Fig. 1.

que c_1, c_2, c_3 reliés entre eux par des interrupteurs i_1, i_2, i_3 dont l'écartement doit être inférieur à celui des frotteurs de prise de courant de l'automotrice; la manœuvre de l'interrupteur de la section intéressée se faisant mécaniquement par le train ou la voiture. C'est sur ce principe qu'a été établi le petit tramway de Northfleet signalé précédemment, décrit d'ailleurs dans Eric Gerard, et dont les figures 2 et 3 permettent de voir facilement le fonctionnement.

» Le conducteur est souterrain; il est interrompu à des distances de 6 m par des contacts à ressorts S, constitués de deux lames de bronze à bords extrêmes recourbés, pressées l'une contre l'autre par des ressorts à boudin appuyés contre des blocs de faïence vernissée. Une flèche A, portée par la voiture motrice, est formée de deux bandes

de cuivre séparées par une courroie de caoutchouc; ces bandes contournent chacune une extrémité de la flèche et aussitôt après se terminent à des sections isolantes I disposées diagonalement. Les pointes des flèches A sont armées de lames de fer pour faciliter la séparation des contacts fixes. On voit qu'avec ce système le moteur de la voiture se trouve mis en série sur la ligne par le contact intéressé (*fig. 3*) et les deux bandes du frotteur; au moment du passage d'un contact au suivant, il y a coïncidence des sections isolantes sur une moitié des frotteurs, ce qui met hors circuit le câble qui les réunit, tandis que le moteur de la voiture reste dans le circuit (*fig. 2*). Pour cette application, la dynamo génératrice fournit un courant constant de 50 ampères sous une différence de potentiel variable de 0 à 400 volts, grâce à un déplacement automatique des balais sur le collecteur.

» Il est évident que ce système est coûteux et délicat en ce qui concerne les positions relatives exactes de la flèche et des contacts,

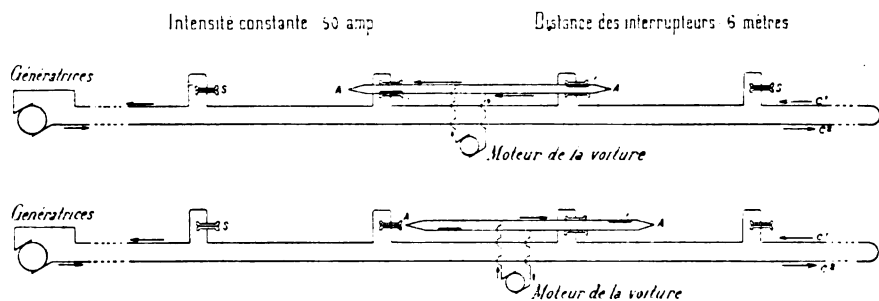


Fig. 2 et 3. — Tramway de Northfleet (près Londres).

principalement au passage des courbes; de plus, le frottement de la flèche contre les contacts doit provoquer une usure qui n'est pas négligeable. Cette disposition ne peut donc être considérée comme applicable d'une façon générale; je rappelle toutefois que, dans le système universellement répandu aujourd'hui pour les tramways, les prises de courant utilisées au début (Siemens, 1880), navettes circulant dans des tubes fendus, présentaient des inconvénients mécaniques de même ordre.

» Mais le but de ma Communication est principalement l'examen de la traction sur les voies ferrées principales et d'autres solutions ne présentant pas ces inconvénients deviennent indispensables.

» En 1903 déjà, M. Potterat a montré qu'en établissant un conducteur auxiliaire c'_1, c'_2, c'_3 , la mise en série des moteurs de la locomotive devenait indépendante de l'écartement des frotteurs de prise de courant (*fig. 4*) ; dans ce cas, la distance entre les interrupteurs ne dépend plus que de l'intervalle à maintenir entre deux trains consécutifs ; elle devient donc égale à la distance entre stations voisines ou entre postes de cantonnement.

» Mais, avec cette disposition, la manœuvre des interrupteurs de rupture de la ligne pour insertion en série des moteurs des locomotives doit se faire par des contacts auxiliaires et des commandes électromagnétiques alimentées par une source spéciale. Bien que ces procédés offrent une très grande garantie de bon fonctionnement, ainsi que l'ont prouvé les divers systèmes de signaux automatiques en service actuellement, des ratés ne sont pas impossibles et causeraient dans ce cas l'arrêt en pleine voie du train. Pour obvier à cet inconvénient, il est facile de ne pas recourir à l'emploi d'un courant auxiliaire, mais de faire faire la manœuvre des interrupteurs automatiquement par le courant principal lui-même.

» La disposition pour obtenir ce résultat est donnée par la figure 5. Le conducteur principal formant boucle sur l'usine génératrice ne sert plus ici de ligne de contact, mais de feeder d'alimentation ; il sera posé sur poteaux à la manière d'une canalisation ordinaire, et la ligne, n'étant pas astreinte à suivre tout le développement de la voie ferrée, pourra être posée suivant le tracé le mieux approprié pour desservir les divers interrupteurs.

» Les fils de contact t et t' sont alimentés une fois par section au départ du conducteur principal, et l'une des connexions passe par l'électro E d'un interrupteur i ; cet électro est établi de façon à ouvrir l'interrupteur quand il est parcouru par le courant ; dès qu'il n'y a plus de courant dans E , l'interrupteur i se ferme automatiquement sous l'action de ressorts.

» Supposons une automotrice A dans la première section et parcourant la ligne de droite à gauche ; le courant passe de c_1 en t'_1 , traverse les moteurs, revient par t_1 et E_1 à la ligne principale c_2 . Dès que le premier frotteur de A dépasse la coupure s_1 de la ligne de contact t_1 , le courant doit passer par t_2, E_2 et c_3 ; l'interrupteur i_2 doit donc s'ouvrir à cet instant et i_1 se fermera, puisque le courant

ne traverse plus E_1 . Il faut compter un certain temps mort pour que l'interrupteur i_1 se ferme; c'est pourquoi les points de coupure s_1

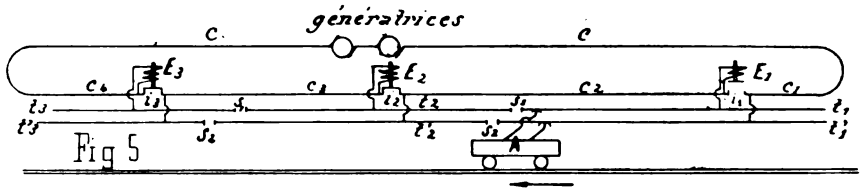
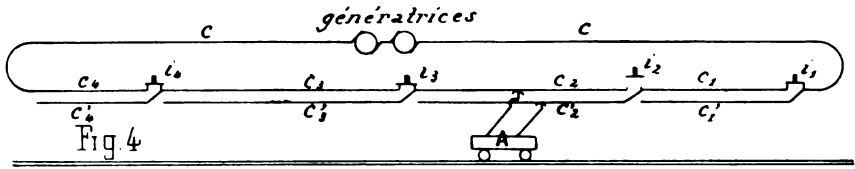


Fig 6 — Interrupteur automatique pour simple voie.
Schéma

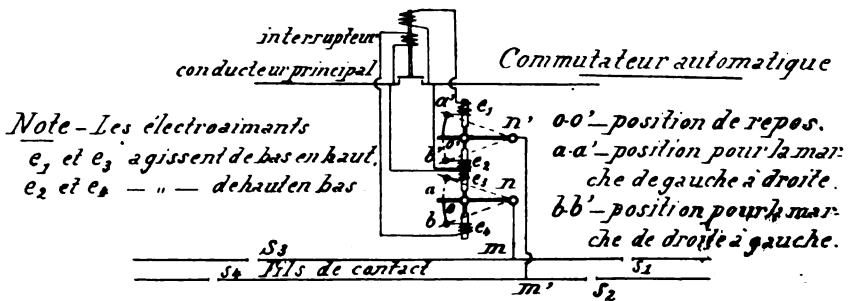


Fig. 7—Schéma pour voie de garage

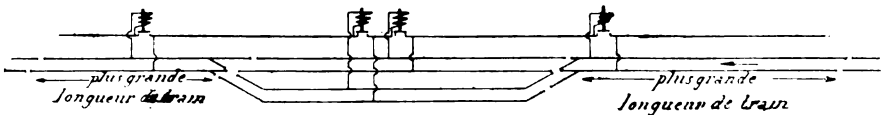


Fig. 4 à 7. — Disposition du système série.

et s_2 sont chevauchés l'un par rapport à l'autre; on peut prendre sans inconvénient cette distance aussi grande qu'on veut, mais nécessairement l'interrupteur i_1 doit être fermé dès que A dépasse le point s_2 .

» La disposition décrite et représentée à la figure 5 s'applique seulement à la marche de l'automotrice de droite à gauche: c'est

le cas d'une ligne à double voie; les interrupteurs i_1 et i_2 fonctionnent quand ils ne sont pas traversés par le courant, il n'y a donc pas à redouter d'étincelles; au contraire, si l'automotrice s'avance dans le sens de gauche à droite, les interrupteurs i_1 et i_2 devraient manœuvrer instantanément et simultanément sous charge, ce qui occasionnerait des étincelles nuisibles.

» Il faut donc, pour le cas de la simple voie, une disposition spéciale permettant la marche dans les deux sens sans inconvénients; cette disposition est représentée dans le schéma de la figure 6. Elle consiste à munir chaque interrupteur de deux électros asservis eux-mêmes par un commutateur double intercalé entre les fils de contact et l'interrupteur et fonctionnant automatiquement par le courant principal.

» Le commutateur est normalement dans la position de repos, $on, o'n'$, où il est ramené automatiquement dès que le courant ne le traverse plus, et dans cette position il est en connexion avec les deux secteurs pleins $o'a'$ et ob . Si l'automotrice s'avance de droite à gauche et dépasse la coupure s_1 , le courant passe par m, n, o, b, e_1 qui abaisse l'ensemble, puis par l'interrupteur qui fonctionne et rompt le conducteur principal; lorsque le deuxième frotteur de l'automotrice dépasse la coupure s_2 , la connexion de retour du courant est toute préparée par m', n', o', b', e_2 et le conducteur principal.

» Pour la marche en sens inverse, de gauche à droite, le fonctionnement est absolument analogue, les connexions s'établissant par m', n', o', a', e_1 qui soulève l'ensemble, puis par l'interrupteur qui fonctionne et rompt le conducteur principal; le retour est préparé par m, n, o, a et e_3 .

» Lorsque le premier frotteur de l'automotrice dépasse une coupure suivante telle que s_3 , le commutateur de la nouvelle section entre en action, mais le premier commutateur ne revient à la position de repos que lorsque le deuxième frotteur de l'automotrice a dépassé la coupure s_2 .

» On voit que dans ces conditions les commutateurs manœuvrent de l'une à l'autre de leurs positions extrêmes sans qu'il y ait rupture de courant; on pourra donc s'il est nécessaire, manœuvrer à la main un tel appareil, même lors de la présence d'un train dans la

section. Cette manœuvre est obligatoire dans le cas d'accident où une locomotive entrée dans une section de pleine voie peut être amenée exceptionnellement à quitter la même section en marche arrière.

» Au contraire, cette manœuvre est automatique pour les voies de croisement et de garage qui sont équipées conformément au schéma de la figure 7 ; chaque voie possède son interrupteur automatique avec commutateur pour la marche dans les deux sens. Les commutateurs des interrupteurs dans les gares sont reliés ensemble électriquement, de telle sorte qu'en dehors de la position de repos où ils sont indépendants, ils sont obligés d'avoir tous la même position *aa'* ou *bb'* ; c'est le commutateur qui a été manœuvré le dernier qui donne la position aux autres. Un train quelconque pourra alors manœuvrer à volonté dans une gare, et, quel que soit le sens de marche, les connexions permettront toujours le passage sans étincelles d'une section à l'autre ; en raison de la disposition des coupures des branchements, la seule précaution à prendre pour les wattmen est de ne pas s'arrêter au milieu d'un branchement pour repartir en sens contraire, ce qui est facile à éviter.

» Dans tous les différents cas, on constate que, quand il ne se trouve pas de train dans une section, les lignes de contact sont sans courant. En outre, comme le système à intensité constante exige que tous les moteurs des trains soient en série, on voit que ce système conduit au block-system absolu ; car dès qu'un train veut entrer dans une section déjà occupée par un autre train, et cela en voie unique aussi bien qu'en double voie, les deux trains se trouvent en dérivation sur la ligne. Le courant a alors tendance à passer par la locomotive qui offre le moins de résistance, c'est-à-dire par celle dont la vitesse est la plus réduite ; les wattmen des deux trains s'apercevront immédiatement du fait d'après les ampèremètres et la marche anormale de leur machine, et pourront prendre les dispositions nécessaires pour éviter tout accident.

» Je rappelle qu'on pourra d'ailleurs toujours arrêter, en cas de nécessité, un train en pleine voie, en fermant l'interrupteur de la section ; cela correspond très bien à la répartition des interrupteurs aux gares ou aux postes de block où ils pourront être combinés avec les signaux.

» Comme construction des lignes, les conducteurs sont aériens et il y a deux fils de contact par voie placés au-dessus de celle-ci ; sauf dispositions plus avantageuses, le conducteur principal est placé habituellement sur les poteaux de la ligne de contact. Comme il n'y a pas de pôle à la terre, les rails n'ont à jouer aucun rôle au point de vue électrique. Le retour du courant par la terre est un moyen qui est adopté habituellement pour réduire d'une unité le nombre des conducteurs de prise de courant ; cette manière de faire entraîne pour le matériel de graves dangers d'incendie, et les accidents provoqués de ce fait sont nombreux et importants.

» L'établissement de deux conducteurs isolés aériens n'est d'ailleurs pas compliqué et existe couramment aujourd'hui pour les lignes sous courant triphasé (Valteline, Simplon). Les figures 8 à 11 donnent la disposition de la ligne aérienne, le détail des isolateurs du conducteur principal et l'installation des lignes dans un branchement, avec la position respective des interrupteurs de ligne ordinaires ou de croisement.

» Le détail de ces appareils est donné dans les figures 12 et 13 ; ils sont étudiés pour pouvoir résister à un effort de traction de 5000 kg et supporter une tension de 10000 volts entre conducteurs et une tension de 30000 volts avec la terre. Les archets de la locomotive quittent et retrouvent le contact avec les fils de ligne au moyen d'un guidage par tubes de laiton latéraux dans le cas de l'interrupteur ordinaire de ligne, et centraux dans le cas de l'interrupteur de croisement. Dans le montage de ces appareils, il n'est prévu aucune soudure ; les fils sont pris dans des serre-fils, ce qui facilite le montage et le réglage des lignes aériennes.

» Les interrupteurs automatiques, dont la disposition est donnée par la figure 14, sont établis pour supporter les mêmes tensions ; ils sont fermés normalement par un ressort à boudin ; la manœuvre d'ouverture se fait dans l'huile au moyen d'un électro agissant sur une armature en Z calée sur l'arbre de l'interrupteur ; une manette permet de faire fonctionner cet interrupteur à la main en cas d'accident. Les interrupteurs automatiques seront généralement placés sur les poteaux de la ligne principale ; la manette de commande exceptionnelle à la main sera enfermée dans une boîte à hauteur convenable et reliée à l'interrupteur au moyen de fils de manœuvre.

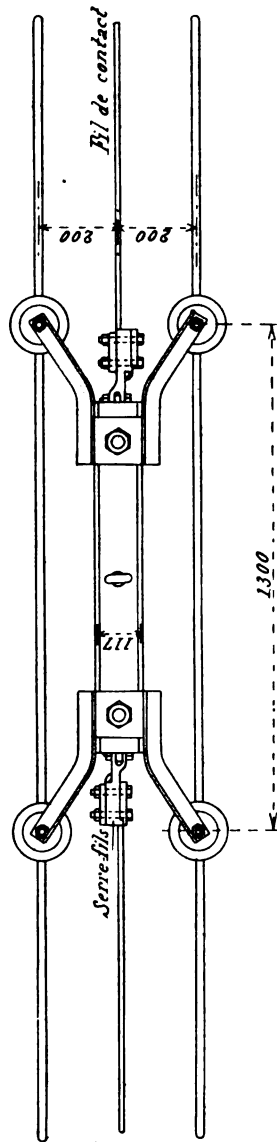
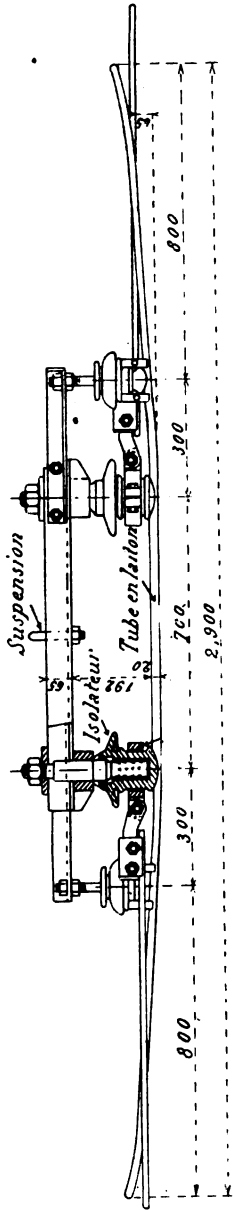
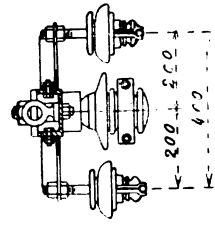


Fig. 12. — Interrupteur ordinaire de lignes pour 10 000 volts entre fils, 30 000 volts avec la terre.

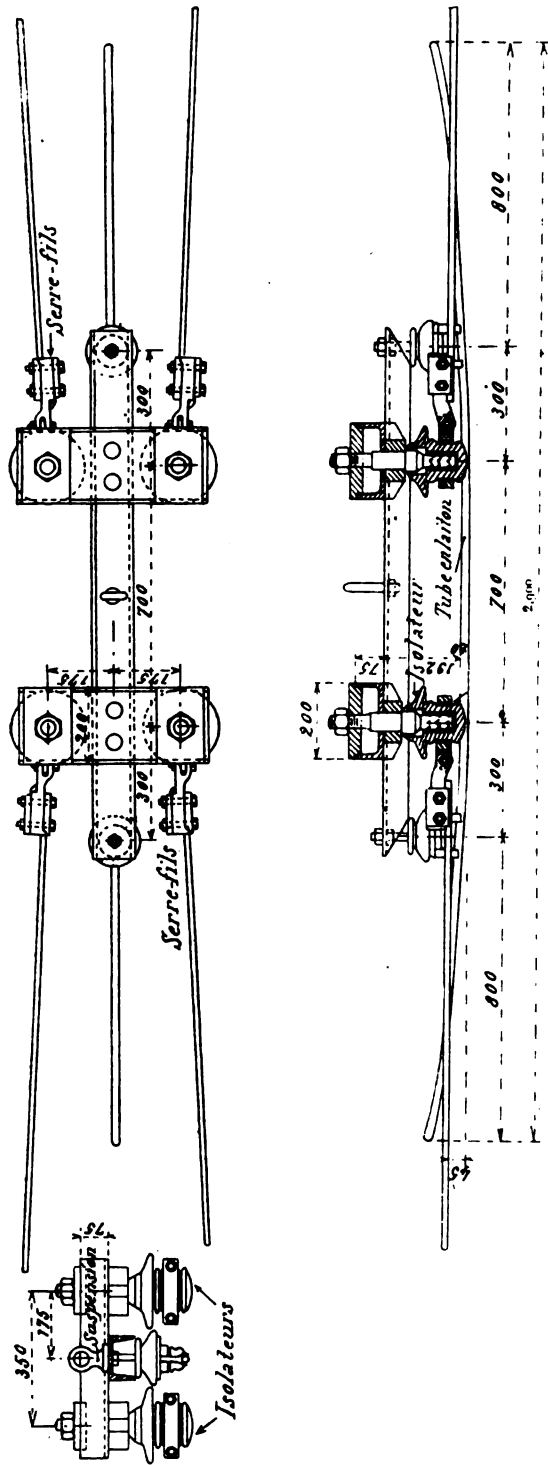


Fig. 13. — Interrupteur de croisement pour 10000 volts entre fils, 30000 volts avec la terre.

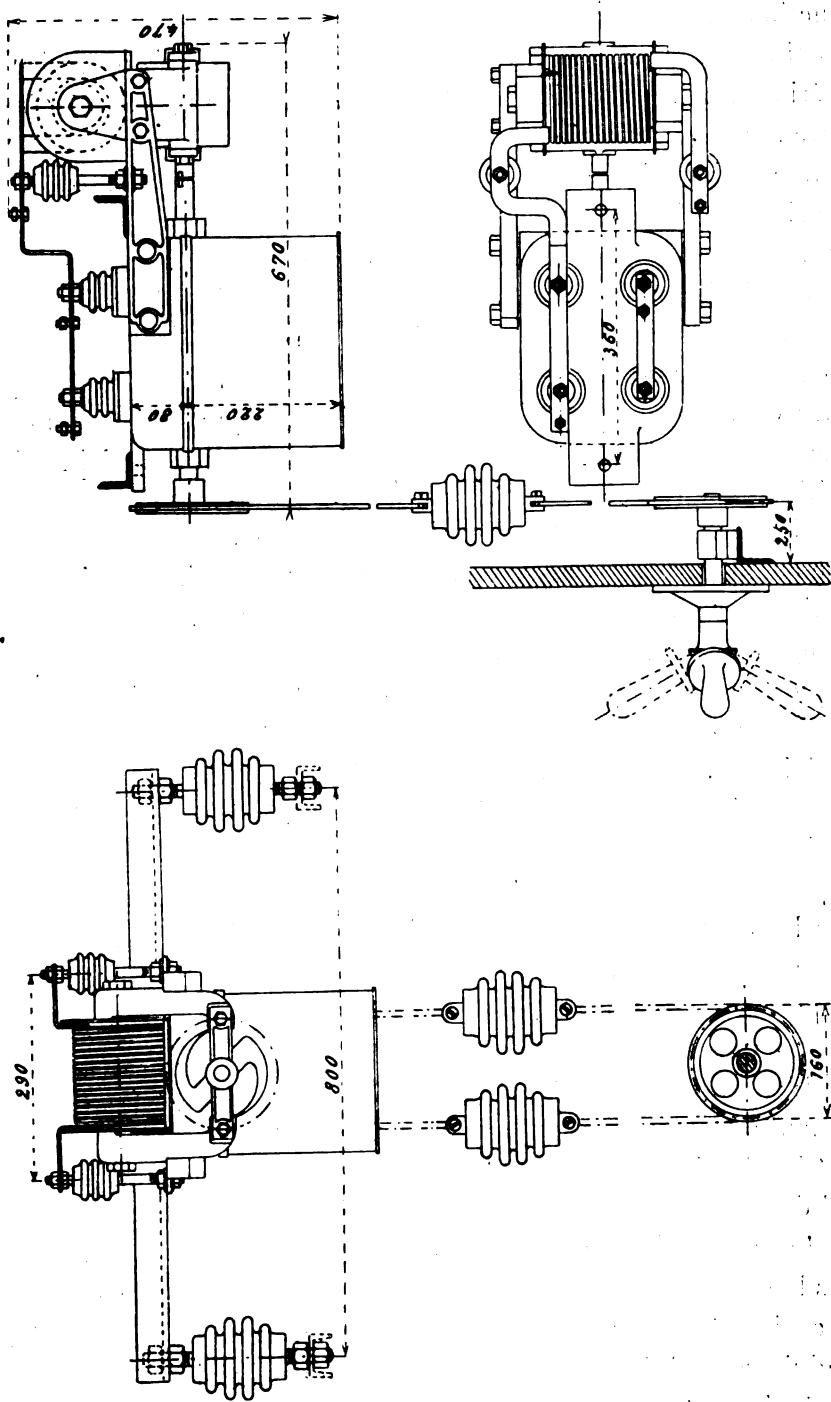


Fig. 14. — Interrupteur automatique pour 150 ampères, 10 000 volts entre fils, 30 000 volts avec la terre.

Les commutateurs pour simple voie et garages seront d'une construction analogue.

» Il est à remarquer que dans tous ces appareils il n'y a pas lieu à détériorations, puisqu'ils sont tous manœuvrés au moment où le courant ne les traverse pas. Dans leur construction, il est prévu comme unique isolant la porcelaine, seule matière donnant une sécurité complète contre les défauts d'isolation.

» Après cette description rapide des lignes et de leurs accessoires, je vous dirai quelques mots des dispositions particulières que présente la locomotive électrique équipée d'après ce système.

» Les moteurs qui séparément sont à faible tension doivent être isolés de la terre contre la demi-tension pouvant exister sur le réseau ; pour satisfaire à cette condition, M. Potterat a choisi la disposition représentée figure 15 et qui est la suivante : les moteurs sont à axe vertical et attaquent les essieux au moyen d'un engrenage conique. Rappelons à ce sujet que plusieurs installations de traction emploient le moteur horizontal avec un mode d'attaque analogue, notamment la Compagnie P.-L.-M. sur la ligne Le Fayet-Chamonix ; et, d'après les ingénieurs de cette Compagnie, la commande par engrenage d'angle a donné des résultats toujours très satisfaisants. En ce qui concerne la disposition de l'axe vertical, cette solution est justifiée par la nécessité de l'isolation et de la suspension du moteur. L'engrenage conique et son carter sont seuls supportés directement par l'essieu ; le moteur est fixé sur le châssis de la locomotive, il est donc suspendu. L'accouplement entre l'axe du moteur et le pignon de l'engrenage est isolant et élastique ; il est composé de nombreux bras agissant sur des ressorts, le tout enfermé dans une boîte contenant de l'huile isolante.

» L'ensemble figuré à la figure 15 est prévu pour un moteur donnant 2500 kg d'effort de traction à la jante des roues motrices dont le diamètre est de 1,3 m ; l'accouplement permet un jeu vertical de ± 60 mm et un jeu horizontal de ± 15 mm.

» Les moteurs, en raison de leur position au-dessus du châssis dans la caisse même de la locomotive, peuvent être aussi largement dimensionnés qu'il est nécessaire, notamment en vue d'une réaction d'induit très faible permettant le décalage des balais ; ils pourront être également prévus avec une vitesse réduite. Ils sont à l'abri de

de commande des appareils suivants, à installer pour chaque moteur :

- » Un court-circuiteur à main ;
- » Un dispositif de manœuvre du décalage des balais.
- » Comme organes de sécurité, il faut en outre prévoir par moteur :

- » Un court-circuiteur automatique fonctionnant quand les balais passent au zéro, afin que, lorsque la machine est arrêtée, le courant ne passe pas par le collecteur qu'il déformerait par échauffement des mêmes lamelles ;

- » Un déclencheur automatique de tension pour éviter toute surtension accidentelle ;

- » Un déclencheur automatique de vitesse fonctionnant en cas d'emballement d'un moteur (rupture d'accouplement ou d'un engrenage).

- » La câblerie comprend uniquement une ligne de mise en série des moteurs avec les by-pass nécessaires pour court-circuiter l'un ou l'autre d'entre eux en cas de besoin.

- » Tout l'appareillage est soigneusement mis à la terre ainsi que la cabine elle-même, de telle sorte que le wattman ne puisse courir aucun danger en cas de rupture de câble ou d'isolation. Les moteurs sont par contre isolés de la terre soigneusement ; on ne peut y accéder sans danger pendant la marche ; la porte de communication entre la cabine et le local des moteurs devra donc être enclenchée avec la manœuvre des archets, de telle sorte qu'elle ne puisse s'ouvrir que quand la communication avec les lignes de contact est coupée.

- » Un petit moteur série actionnant un compresseur fournit l'air nécessaire au frein à air comprimé et aux autres services de la locomotive : sifflet, sablières, manœuvre des archets et portes. Rappelons que, suivant le principe même du système, le freinage est normalement électrique ; le frein à air comprimé n'est plus ici qu'un frein de secours agissant sur le train tout entier.

- » La prise de courant a lieu par quatre archets, soit deux par conducteur ; ces archets permettent une déviation de 400^{mm} des fils de contact par rapport à leur position théorique.

- » Les locomotives du système considéré doivent encore présenter une particularité : celle de pouvoir être automotrices momentanément.

ment; cette condition n'est d'ailleurs pas obligatoire, mais elle conduit à une réelle simplification en supprimant l'équipement électrique des voies secondaires, en simplifiant la question manœuvres et en permettant à un train en panne en pleine voie, par suite de manque de courant, de pouvoir, par ses propres moyens, gagner la gare la plus voisine.

» Je ferai remarquer tout d'abord qu'actuellement, en traction à vapeur, les manœuvres sont déjà spécialisées et qu'on ne les fait jamais effectuer par les machines des grands trains, car on sait bien qu'une locomotive des types généralement usités (compound à quatre cylindres) est loin de constituer la machine de manœuvre commode et économique. Le même principe est à conserver dans le système série en spécialisant les locomotives électriques pour le service exclusif des trains et en conservant pour les manœuvres les petites locomotives à vapeur spéciales, ou en adoptant les locomotives à essence qui commencent à se répandre actuellement. Il n'y a en effet aucun intérêt économique à faire électriquement les manœuvres dans les grandes gares, et évidemment le système série ne se prêterait que difficilement à ce service en raison surtout de la complication des lignes aériennes dans ce cas, ce qui est d'ailleurs commun au système triphasé. Les voies principales des grandes gares seront seules équipées; dans les petites gares, les voies principales seront équipées ainsi que les voies de garage suivant le schéma précédemment indiqué.

» Le fonctionnement en automotrice est donc nécessaire pour les mouvements des locomotives en gares principales : trajet du dépôt, mise en tête, etc., et pour le cas de panne en pleine voie. Ces mouvements, qui s'opèrent toujours à vitesse réduite, ne nécessitent qu'une faible partie de la puissance que peut absorber normalement la locomotive. On peut évidemment, pour cette éventualité, munir la locomotive d'une batterie d'accumulateurs, mais cette réserve d'énergie transportable est, dans l'état actuel de la question, peu pratique, bien que nous ayons vu récemment mettre en service (Allemagne) des automotrices de trains principaux n'ayant pas d'autre source d'énergie. Comme solution plus pratique et plus légère, M. Potterat prévoit l'emploi de petits groupes électrogènes à essence de 100 chevaux environ, actionnant directement une géné-

ratrice à courant continu qui produit un courant d'intensité constante de valeur égale à une fraction de l'intensité du courant normal ; ce courant, envoyé dans un ou plusieurs des moteurs de la locomotive, permet les quelques manœuvres indispensables et la marche lente du train chargé pour sortir en cas de panne d'une section où le courant lui a fait défaut.

» Ces groupes électrogènes à essence, dont une application a d'ailleurs été faite déjà sur la ligne Arad-Cyanad des chemins de fer hongrois, peuvent, en raison de leur faible encombrement, être placés dans le sens de la largeur de la locomotive : un tel groupe sera démarré en temps opportun au moyen de l'air comprimé existant dans le réservoir principal pour les différents services de la machine.

» Ce dispositif automoteur n'est évidemment pas, comme nous le disions, indispensable, mais faciliterait beaucoup le service d'exploitation. Si l'on veut s'en abstenir, il suffit de faire faire la mise en tête par une locomotive auxiliaire ou de réaliser une disposition simple de sortie de dépôt sur le schéma d'une voie de garage pour le tronc commun, au départ duquel les machines seraient rangées en remise par cabestans électriques, par exemple. Dans ce cas, les locomotives privées de courant en pleine ligne se trouveraient exactement dans les conditions des locomotives à potentiel constant actuelles lorsque le courant vient à leur faire défaut, et devraient, avant tout mouvement, attendre que le service normal soit rétabli.

» En dehors du manque de courant, les pannes d'une telle locomotive sont réduites au minimum ; comme le court-circuit est la base du système, il n'y a aucun plomb ni disjoncteur d'intensité et, par suite, aucun risque d'arrêt intempestif ou de grillage des moteurs par le courant ; ceux-ci, en effet, supportent le passage de tout le courant, même quand ils sont calés. En cas d'avarie à l'un d'eux (rupture de fils), il est immédiatement court-circuité et la locomotive continue avec un moteur de moins sans interrompre son service.

» La caractéristique du système série est, en effet, la sécurité du fonctionnement dans tous les cas : si la ligne est surchargée, le voltage aux bornes de chaque moteur sera moins élevé qu'en temps normal, et, la vitesse étant réduite de ce fait, on ne suivra plus

l'horaire; mais, au moment où la surcharge cessera, on pourra reprendre la vitesse réglementaire; en potentiel constant, si l'installation est surchargée, même un instant, les organes de sécurité, fusibles ou disjoncteurs, isolent les génératrices; tout est arrêté et, à la remise du courant, les démarrages simultanés sont pénibles.

» En hiver, le système série a encore un autre avantage : avec les systèmes ordinaires, dès qu'une couche de glace s'est formée sur les conducteurs, le courant ne passe pas et il faut recourir à des expédients pour faire disparaître cette couche isolante. Avec la série, le courant est obligé de passer de la ligne de contact à l'archet et, s'il y a entre eux quelque obstacle, celui-ci sera brûlé. Le courant fera fondre la couche de glace à l'endroit du passage; cela représentera évidemment quelques volts supplémentaires que les génératrices devront fournir, mais la marche du train ne sera nullement influencée de ce fait.

» Après avoir ainsi exposé rapidement les divers dispositifs par lesquels la réalisation de la traction par courant continu à intensité constante est possible sur une grande ligne de chemin de fer, il est nécessaire, pour la comparaison avec les systèmes existants, d'envisager le côté économique d'une telle installation. Il est bien évident que le premier reproche que chaque ingénieur électricien fait au système du courant continu en série, c'est la constance de la perte en ligne, perte qui existe à sa valeur totale dès que le moindre moteur série est branché sur la boucle, mais qui n'a d'ailleurs aucune importance technique et aucune influence sur le fonctionnement; on peut répondre immédiatement qu'en face de cet inconvénient le système série présente l'avantage de la récupération d'énergie à n'importe quelle vitesse de marche et avec un rendement toujours excellent, tandis que dans les distributions à potentiel constant, où la perte est fonction de la consommation sur la ligne, la récupération est, suivant le système, ou impossible ou d'un rendement tellement faible, qu'on ne peut la faire entrer ne ligne de compte.

» Pour étudier ces faits, il est indiscutable qu'on ne peut raisonner que sur la base d'un service existant et d'un graphique de marches de trains déterminés, toute autre manière de procéder ne

donnant que des résultats purement théoriques sans aucune valeur pratique.

» Dans cet ordre d'idées, M. Potterat a complètement étudié l'adaptation du système série à l'électrification de la section Montréjeau-Tarbes de la ligne Toulouse-Bayonne. Cette section a 52 km de longueur, elle est établie en double voie et présente des rampes atteignant 33 mm par mètre.

» Les calculs ont été faits en prenant pour base l'horaire du service d'été réel et en admettant :

» 1^o Que tous les trains étaient composés d'une locomotive de 60 tonnes remorquant une charge de 200 tonnes utiles.

» 2^o Que les vitesses de marche étaient les suivantes :

» *a. Trains impairs.* — Trains express (503, 515, 519, 527, 543, 547) : 40 km à l'heure.

» Trains omnibus (501, 509, 529) : 35 km à l'heure.

» Train mixte (505) : 30 km à l'heure.

» Trains de marchandises (1501, 1505, 1507, 2507, 2511) : 20 km à l'heure.

» *b. Trains pairs.* — Trains express (500, 502, 506, 514, 520, 524, 542, 544) : 40 km à l'heure (vitesse réduite à 24 km à l'heure sur la rampe de Capvern).

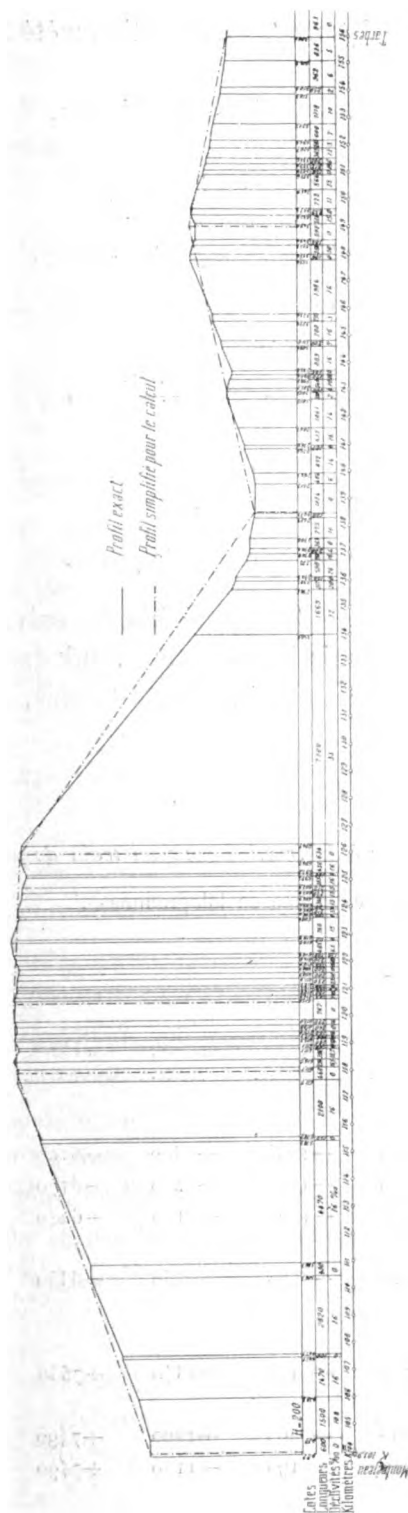
» Trains omnibus (510, 526, 1502, 1506) : 30 km à l'heure et 19 km à l'heure sur la rampe de Capvern.

» Trains de marchandises (1508, 2510, 2514) : 24 km à l'heure et 19 km sur la rampe de Capvern.

» 3^o Que le profil en long de la section était simplifié de la manière suivante (*fig. 16*) :

	Du km 104	au km 118	rampe de 13,6 pour 1000	
	— 118	— 120,5	— 1,6	—
	— 120,5	— 126	pente de 2	—
	— 126	— 138,5	— 26,7	—
	— 138,5	— 149	rampe de 9	—
	— 149	— 156	pente de 8	—

» L'erreur ainsi commise dans cette simplification du tracé en vue des calculs est de peu d'influence sur l'ensemble des marches des trains.



» Le calcul des résistances à la traction a été fait sur les bases suivantes :

» 1° Résistance des locomotives électriques,

$$R_1 = 1.8 + 0.8 V \frac{(V + 50)}{1000},$$

formule résultant d'essais d'automotrices électriques sur les chemins de fer de l'État belge.

» 2° Résistance des wagons,

$$R_2 = 1.6 + 0.46 V \frac{(V + 50)}{1000},$$

formule du chemin fer du Nord.

» 3° Résistance due aux courbes,

1 kg pour courbes de 700 m.

» L'application de ces différents éléments suivant le profil simplifié ont permis d'obtenir le Tableau A, qui donne la résistance totale à la traction pour un train de 260 tonnes, locomotive comprise :

TABLEAU A.

Résistance totale à la traction pour un train de 260 tonnes

(exprimée en kilogrammes).

	Du km 104 au km 118, 1 ^{re} section.	Du km 118 au km 120.5, 2 ^e section.	Du km 120.5 au km 126, 3 ^e section.	Du km 126 au km 138.5, 4 ^e section.	Du km 138.5 au km 149, 5 ^e section.	Du km 149 au km 156, 6 ^e section.
Numéros des trains.	km 118, 1 ^{re} section.	km 120.5, 2 ^e section.	km 126, 3 ^e section.	km 138.5, 4 ^e section.	km 149, 5 ^e section.	km 156, 6 ^e section.
503, 515, 519, 527, 543, 547,	+4360	+1235	+ 300	—6100	+3160	—1260
501, 509, 529,	+4290	+1165	+ 230	—6170	+3090	—1330
505,	+4220	+1095	+ 160	—6240	+3020	—1400
1501, 1505, 1507, 2507, 2511,	+4110	+ 985	+ 50	—6350	+2910	—1510
500, 502, 506, 514, 520, 524, 542, 544,	—2720	+ 405	+1340	+7530	—1520	+2900
510, 526, 1502, 1506,	—2860	+ 265	+1200	+7490	—1660	+2760
1508, 2510, 2514,	—2930	+ 195	+1130	+7490	—1730	+2690

» En tenant compte des vitesses moyennes de marches admises ci-dessus, et en les composant avec les chiffres du Tableau A, on établit le Tableau B, qui donne en chevaux la puissance absorbée ou rendue par le même train de 260 tonnes :

TABLEAU B.

Puissance en chevaux absorbée par un train de 260 tonnes.

Numéros des trains.	Du km 104 au km 118, 1 ^{re} section.	Du km 118 au km 120,5, 2 ^e section.	Du km 120,5 au km 126, 3 ^e section.	Du km 126 au km 138,5, 4 ^e section.	Du km 138,5 au km 149, 5 ^e section.	Du km 149 au km 156, 6 ^e section.
503, 513, 519, 527, 543, 547.....	+ 646	+ 168	+ 44	— 900	+ 468	— 187
501, 509, 529....	+ 558	+ 158	+ 30	— 800	+ 401	— 172
505.....	+ 470	+ 122	+ 18	— 693	+ 335	— 156
1501, 1503, 1507, 2507, 2511.....	+ 305	+ 73	+ 4	— 470	+ 216	— 112
500, 502, 506, 514, 520, 524, 542, 544.....	— 403	+ 60	+ 198	+ 670	— 225	+ 430
510, 526, 1502, 1506.....	— 318	+ 30	+ 133	+ 528	— 185	+ 307
1508, 2510, 2514.	— 262	+ 17	+ 101	+ 528	— 154	+ 259

» Ce Tableau montre qu'un train express, par exemple, absorbe 646 chevaux pour gravir la première section et qu'il peut en rendre 403 seulement lorsqu'il descend cette section. Le rendement est donc de 62 pour 100 seulement; les 38 pour 100 manquants sont absorbés par la résistance au roulement.

» Au moyen du Tableau B, on peut calculer les chiffres du Tableau C, qui indiquent, en kilowatts, l'énergie absorbée ou produite par la marche des trains, en tenant compte d'un rendement de 80 pour 100 pour la transformation de la puissance mécanique en énergie électrique.

TABLEAU C.

Énergie électrique absorbée par un train de 260 tonnes
(exprimée en kilowatts).

Números des trains.	Du km 104 au km 118, 1 ^{re} section.	Du km 118 au km 120,5, 2 ^e section.	Du km 120,5 au km 126, 3 ^e section.	Du km 126 au km 138,5, 4 ^e section.	Du km 138,5 au km 149, 5 ^e section.	Du km 149 au km 156, 6 ^e section.
503, 515, 519, 527, 543, 547,.....	+ 592	+ 154	— 41	— 530	— 430	— 110
501, 509, 529,....	+ 510	— 145	+ 98	— 472	— 368	— 101
505,.....	+ 433	+ 112	— 17	— 410	+ 308	— 92
4501, 1505, 1507, 2507, 2511,....	+ 280	+ 57	+ 4	— 278	+ 198	— 66
500, 502, 506, 514, 520, 524, 542, 544,.....	— 238	+ 55	+ 182	+ 615	— 133	+ 395
510, 526, 1502, 1506,.....	— 188	— 28	+ 122	+ 484	— 109	+ 282
1508, 2510, 2514.	— 155	+ 16	+ 93	+ 484	— 91	+ 220

» Sur la base du Tableau C, on peut établir les graphiques de consommation dans les deux cas suivants :

» 1^o Sans tenir compte de la récupération, ce qui est le cas d'un système à potentiel constant, où toute l'énergie des parties négatives est supposée absorbée par freinage (graphique de la figure 17).

» 2^o En tenant compte de la récupération, ce qui est le cas du système série, où les trains descendant les rampes, une fois la résistance au roulement vaincue, produisent du courant qui est envoyé dans la ligne et sert soit à diminuer l'énergie à fournir à un train montant, soit à compenser partiellement celle absorbée par les lignes (graphique de la figure 18).

» En prenant ce dernier graphique, on voit que la consommation maximum correspond à 1730 kilowatts sans aucune perte en ligne comptée; la consommation moyenne dans les mêmes conditions est de 408 kilowatts; si, à côté de ce chiffre, on place brutalement celui de 300 kilowatts qu'il faut adopter pour la perte en ligne dans une telle installation, on voit que ce chiffre représente 73 pour 100 de

Graphique des trains, Service d'été.

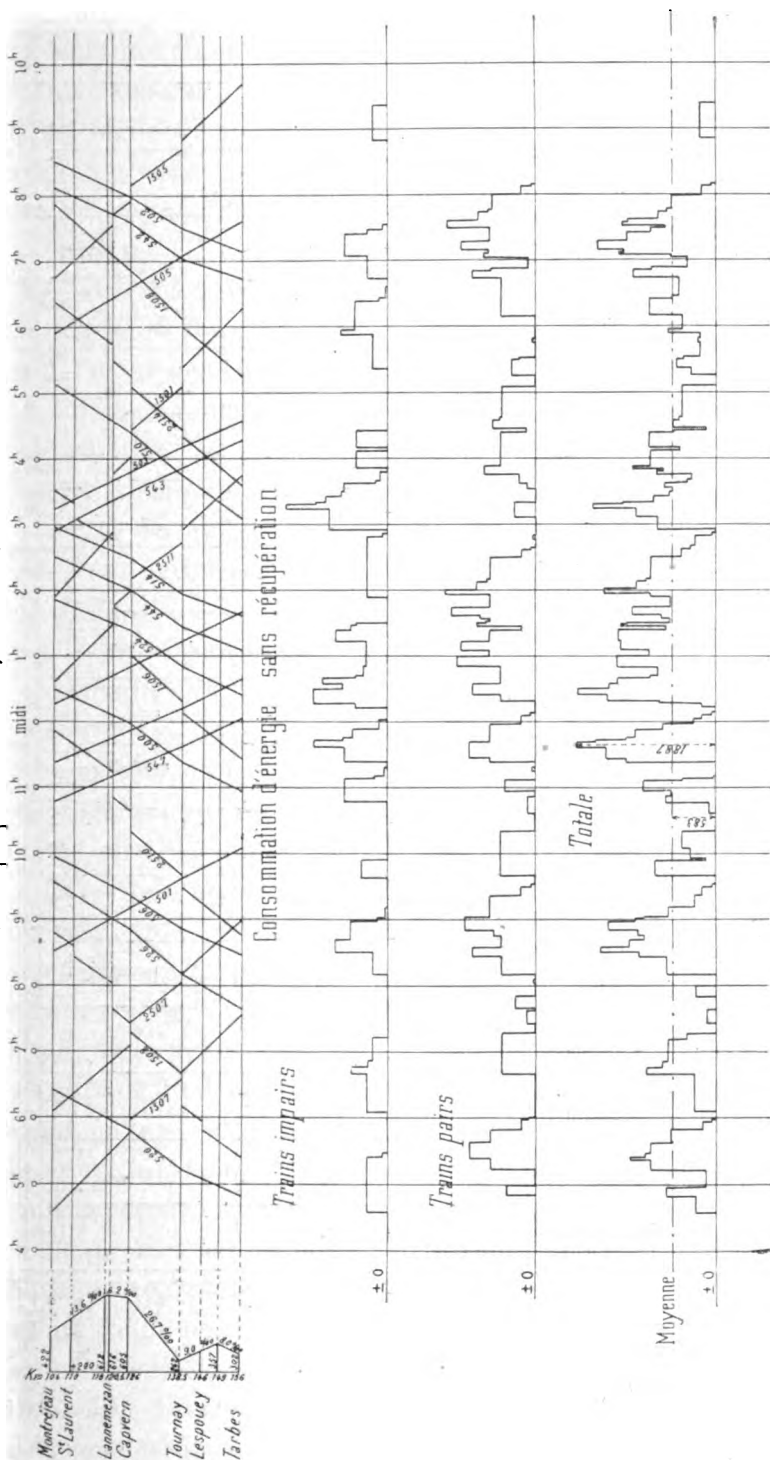


Fig. 17. — Service avec traction à potentiel constant.

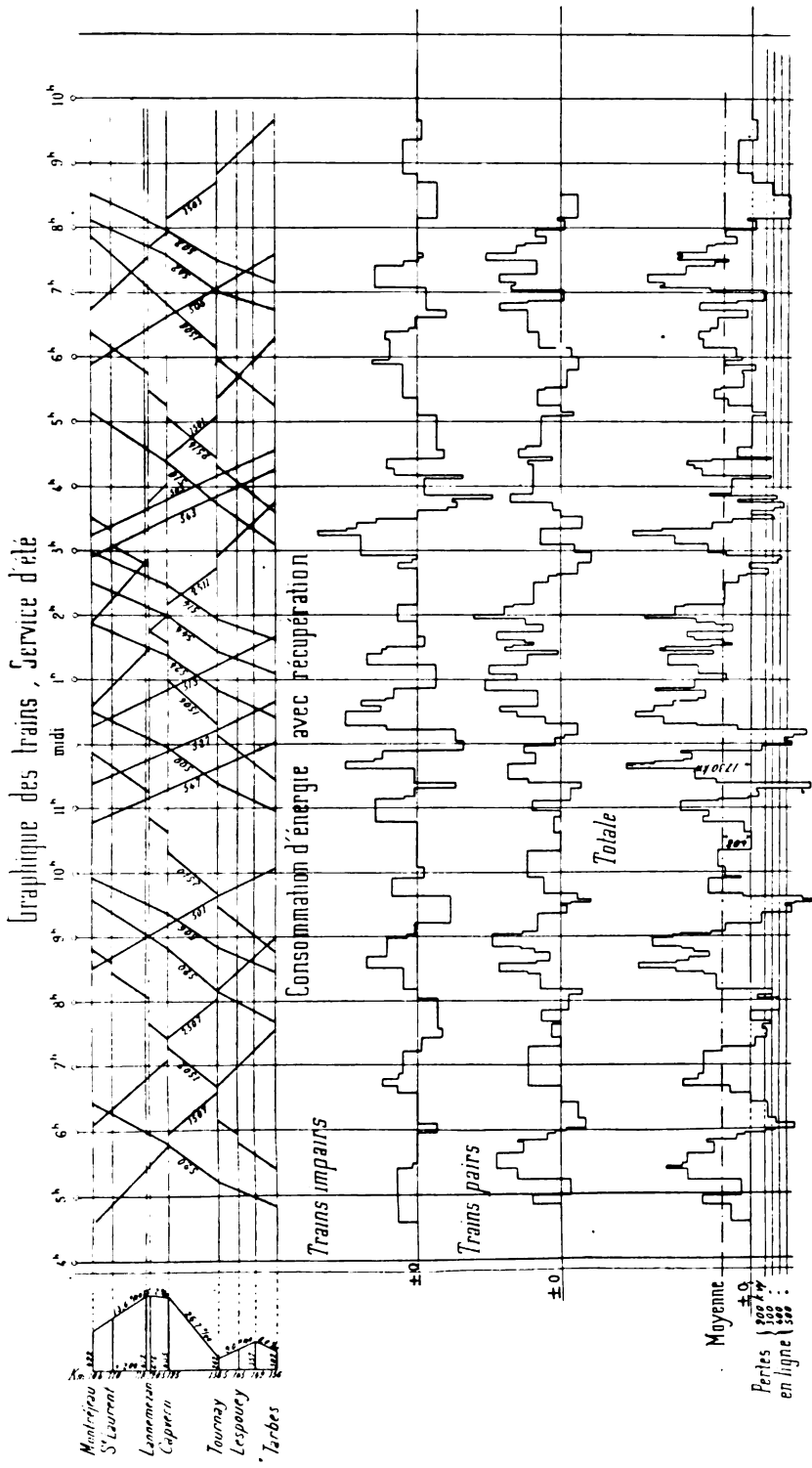


Fig. 18. — Service avec traction à intensité constante.

la consommation moyenne et l'on est immédiatement tenté de croire à l'impossibilité, au point de vue économique, du système continu à intensité constante.

» Il est facile de voir cependant que, pour une ligne de montagne comme celle considérée, une perte moyenne de plus de 60 pour 100 permet encore au système série de ne pas consommer plus de courant à l'usine génératrice qu'un système à potentiel constant avec une perte de 12 pour 100. En tenant compte de la perte en ligne de 300 kilowatts, le graphique n° 18 donne pour la charge à l'usine génératrice le premier graphique de la figure 19.

» La surface du diagramme correspond à 12 200 kilowatts-heure; la consommation maximum à l'usine est de 2030 kilowatts et la consommation moyenne de 655 kilowatts. Si l'on se reporte au graphique n° 18 qui donne 408 kilowatts comme consommation moyenne sans pertes en lignes, on voit que la perte en ligne effective est ici de $655 - 408 = 247$ kilowatts, soit de 53 kilowatts inférieure au chiffre admis de 300 kilowatts. Cela provient, comme nous l'avons déjà vu, de la récupération. La perte moyenne serait donc, dans ce cas, de 61 pour 100 de la consommation moyenne.

» Comme comparaison, prenons un système à potentiel constant sans récupération, le monophasé par exemple, et admettons que les rendements des moteurs des locomotives soient les mêmes que dans le cas du continu série, ce qui avantage évidemment les moteurs monophasés dont les rendements sont plus faibles. La transformation du diagramme du graphique n° 17 avec une perte proportionnelle de 12 pour 100 de la consommation instantanée donne le deuxième graphique de la figure 19.

» La surface du diagramme correspond à 12 160 kilowatts-heure; la consommation maximum à l'usine est de 2115 kilowatts, supérieure de 85 kilowatts à celle du système série. La consommation moyenne est de 653 kilowatts; celle donnée par le graphique n° 17, qui ne comprenait pas les pertes, était de 583 kilowatts; la perte de 70 kilowatts représente donc bien les 12 pour 100 admis précédemment. Cette perte de 12 pour 100 ne doit pas être imputée uniquement à la ligne, car les moteurs monophasés ne peuvent être branchés directement sur le courant à haute tension de la ligne de contact; il est indispensable de réduire la tension par une

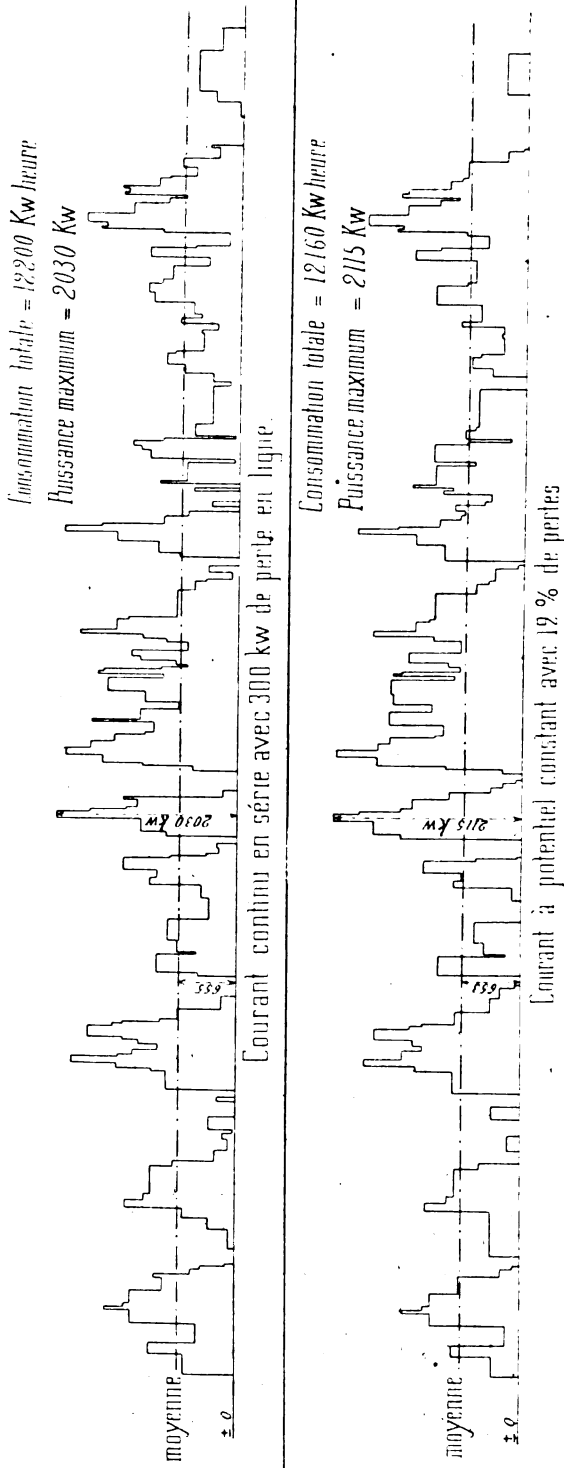


Fig. 19. — Graphique des charges à l'usine génératrice.

transformation sur la locomotive, et les transformateurs absorberont toujours au moins 5 pour 100 de l'énergie. Pour qu'il y ait alors égalité entre le monophasé et le continu série, il faut donc que la perte dans les conducteurs du système monophasé ne dépasse pas 7 pour 100; on arrive ainsi à cette formule intéressante :

» Au point de vue de la consommation à l'usine génératrice, le système série avec 60 pour 100 de perte moyenne en ligne est équivalent au système monophasé avec 7 pour 100 de perte en ligne, et ceci avec les hypothèses suivantes :

» 1° Les génératrices du système monophasé fournissent le courant directement à la haute tension de la ligne de contact;

» 2° Le rendement des transformateurs monophasés des locomotives n'est pas inférieur à 95 pour 100;

» 3° Le rendement du moteur de traction monophasé est le même que le rendement du moteur de traction continu série.

» Cette formule s'applique dans les conditions de profil et de trafic de la ligne Montréjeau-Tarbes; il est évident que, si au lieu d'une ligne à fortes rampes (16^{mm} et 33^{mm}), il s'agit d'une ligne de plaine avec faibles déclivités, l'avantage de la récupération donnée par le système série diminue considérablement.

» Mais, à l'heure actuelle, le problème de la traction électrique des grandes lignes de chemins de fer se pose presque exclusivement pour les sections à fortes rampes sur lesquelles la traction électrique permet la remorque de trains à fortes charges; c'est donc en se plaçant dans ces conditions qu'on doit comparer entre eux les divers systèmes de traction.

» Sans vouloir pousser trop loin la comparaison entre le continu série et le monophasé, je désire insister sur quelques points caractéristiques des deux systèmes. Je rappellerai notamment : le poids élevé et le coût considérable des locomotives monophasées, la conductibilité plus faible des lignes avec le monophasé en raison de l'impédance (au point de vue résistance, les essais montrent qu'un courant continu à 600 volts équivaut à un courant monophasé de 1000 volts à 25 périodes, et cela pour le conducteur aérien en cuivre, tandis que la résistance des rails en acier est de six à sept fois plus grande pour le monophasé que pour le continu).

» Le monophasé est actuellement préconisé en raison de la com-

plication du système continu à potentiel constant, à cause des nombreuses sous-stations transformatrices nécessaires (triphase-continu en général); ces stations sont souvent complétées par d'onéreuses batteries d'accumulateurs.

» Avec l'emploi du système série, la complication de la traction par le continu disparaît. Il ne reste plus, comme disposition jugée désavantageuse par certains ingénieurs, que celle du double conducteur aérien au lieu du simple fil du monophasé; par contre, on n'a pas à équiper électriquement la voie courante dont les rails ne sont pas utilisés comme conducteur de retour. Il y a là certainement un avantage que les ingénieurs de la voie ne dédaigneront pas et qui est surtout appréciable sur les lignes où l'exploitation se fait d'une manière mixte, tantôt par traction à vapeur, tantôt par traction électrique. Les dangers pour le personnel en sont bien diminués, tout comme les chances d'incendie pour le matériel.

» Quant aux communications téléphoniques ou télégraphiques, elles ne seront en rien influencées, tandis que le système monophasé a sur elles une action néfaste; dans les essais de la ligne Seebach-Wettingen, on a constaté, dans les lignes téléphoniques voisines de la ligne de contact monophasée, des surtensions dépassant 800 volts. Dans cet ordre d'idées, les inconvénients ont été reconnus parfois si considérables, que, dans les installations des lignes du Borinage (Belgique), le retour par la terre a été interdit et qu'il a été établi un deuxième conducteur aérien pour le retour du courant monophasé; dans d'autres installations, la Société d'Oerlikon, pour éviter la perte par la grande résistance des rails, relie ceux-ci de distance en distance avec un fil de retour aérien placé près du fil de contact et intercale dans chaque section de ces deux conducteurs des transformateurs qui réduisent la perte dans les rails en augmentant celle dans le conducteur aérien.

» Ces dispositions de double ligne ou d'installations spéciales enlèvent au système monophasé l'avantage de la simple ligne de contact; l'installation des deux fils isolés du continu série n'est nullement compliquée et élimine les inconvénients de l'emploi de la terre comme conducteur de retour.

» En ce qui concerne la question moteurs, il a été admis, dans les calculs exposés précédemment, qu'il y avait identité de rende-

ments pour les moteurs de traction monophasés et les moteurs de traction en continu série : j'ai déjà dit que cette condition était tout à l'avantage des moteurs monophasés ; ceux-ci ne comportent pas, il est vrai, de résistances de démarrage comme le continu à potentiel constant ou le triphasé, mais ils n'en ont pas moins un rendement déplorable pendant la marche à faible vitesse. Cet inconvénient est déjà bien connu des ingénieurs de traction, et il me suffira de vous rappeler à ce sujet que, pour concilier les avantages de la prise de courant en monophasé avec ceux du moteur de traction à courant continu, MM. Auvert et Ferrand, ingénieurs de la Compagnie P.-L.-M., ont inventé un système très intéressant de commutation sur la machine elle-même ; une locomotive de ce système est actuellement en voie d'achèvement et sera bientôt en essais sur la ligne à fortes déclivités de Cannes à Grasse.

» Ce même système est d'ailleurs proposé pour l'électrification future de la ligne du Loetschberg (rampes de 27 pour 100) et est en concurrence avec le système monophasé direct avec des moteurs de traction de 500 et même de 1000 chevaux dont M. Tissot, au Congrès de Marseille, nous promettait la réalisation prochaine.

» Le système continu à intensité constante peut, lui aussi, entrer facilement en concurrence, car il s'applique également au cas général de la traction à vitesses raisonnables sur fortes déclivités de véhicules d'origine et de nature quelconques, comme c'est le cas pour les grands trains internationaux dont les services d'exploitation voient constamment augmenter la charge.

» Pour montrer la simplicité d'un tel système, je désire, en terminant, vous indiquer les grandes lignes de sa réalisation sur la section Montréjeau-Tarbes qui a servi de base aux calculs exposés précédemment.

» D'après le graphique n° 19, l'usine génératrice doit produire 2030 kilowatts au maximum, y compris 300 kilowatts de perte en ligne ; en admettant 150 ampères comme intensité constante du courant, la valeur maxima de la tension est de 13500 volts. La station comprend, dès lors, trois génératrices de 750 kilowatts donnant chacune 150 ampères sous 5000 volts au maximum ; une quatrième génératrice est installée comme réserve.

» La locomotive, capable de remorquer 200 tonnes utiles sur rampe de 33 pour 1000 à la vitesse de 40 km à l'heure, est équipée avec quatre moteurs de 450 chevaux exigeant chacun 2200 volts aux bornes en pleine charge, ce qui correspond à 8800 volts entre fils de la ligne de contact. Cette tension est loin d'être exagérée, puisque, pour la future traction du chemin de fer du Loetschberg, la Commission suisse admet actuellement 16000 volts en monophasé avec retour par les rails. D'autre part, pour les lignes du Sud-France dont l'équipement s'effectue actuellement, on admet sur route et même à la traversée des localités la tension de 6000 volts en monophasé avec retour par les rails.

» La tension maxima à l'usine est de 13500 volts; la différence de potentiel maxima entre conducteurs et la terre peut donc atteindre 6500 volts, mais la différence de potentiel moyenne ne sera que de 2230 volts. Cette dernière valeur est très voisine de celle de 2000 volts, adoptée dans des installations récentes de traction par courant continu à potentiel constant.

» Le conducteur principal est constitué par un câble en cuivre de 150 mm² de section et de 100 km de longueur; sa résistance est de 0,117 ohm par kilomètre, et la perte correspondante est de 1750 volts.

» Les lignes de contact ont un profil en 8 aplati de 65 mm² de section donnant une résistance de 0,27 ohm, soit une perte de 40 volts par kilomètre. La ligne équipée comprend 29 sections pour 100 km; la longueur moyenne d'une section est de 3,45 km; la perte moyenne par train sera donc de 140 volts. Avec deux trains simultanément sur la ligne, la perte totale moyenne dans les conducteurs de contact sera de 280 volts. Cette valeur, ajoutée aux 1750 volts de perte du conducteur principal, donne 2030 volts de perte totale, soit sensiblement 300 kilowatts, chiffre indiqué précédemment.

» On voit donc que toute l'installation fixe se borne à une usine génératrice de 3000 kilowatts, sans transformateur ni tableau compliqué, et à des lignes aériennes où il entre en tout 135 tonnes de câble de cuivre pour le conducteur principal et 125 tonnes de fils de contact, plus les supports, les isolateurs et les interrupteurs néces-

saires ; cela pour l'exploitation d'un chemin de fer à fortes rampes de 52 km de longueur à double voie ayant un trafic de 6000 tonnes utiles par jour.

» L'équipement des locomotives demande, d'autre part, un appareillage restreint et de manœuvre très facile ; le système de traction que je viens de vous présenter offre donc, dans tout son ensemble, le sérieux avantage de la grande simplicité, et c'est là sa principale caractéristique.

» Après ce rapide exposé, je désire remercier tout particulièrement M. Potterat, auteur de ces travaux intéressants, pour la Communication qu'il m'a donné l'occasion de faire à notre Société ; je souhaite ardemment qu'une réalisation très prochaine sanctionne pratiquement les avantages de ce système et nous donne ainsi une nouvelle solution du problème de la traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer.

» En vous demandant de vous unir à ce vœu, permettez-moi, Messieurs et chers Collègues, de vous remercier sincèrement de la bienveillante attention que vous avez bien voulu accorder à ma Communication. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Bourdel de l'intéressante Communication qu'il a présentée avec beaucoup de clarté.

Le dépouillement du scrutin étant terminé, M. le PRÉSIDENT proclame les résultats suivants du vote pour le renouvellement partiel du Comité d'administration et l'élection de la Commission des Comptes :

Suffrages exprimés	321
Majorité	161

PRÉSIDENT :

Pour l'exercice 1910-1911.

Nombre
de voix
obtenues.

MM.
BOCHET (A.), Ingénieur en chef de la *Maison Harlé et Cie* 319

VICE-PRÉSIDENTS :

ARMAGNAT (H.), Ingénieur-Conseil 318
BRUNSWICK (E.), Ingénieur en chef de la *Maison Bréguet* 303

» La locomotive, capable de remorquer 200 tonnes utiles sur rampe de 33 pour 1000 à la vitesse de 40 km à l'heure, est équipée avec quatre moteurs de 450 chevaux exigeant chacun 2200 volts aux bornes en pleine charge, ce qui correspond à 8800 volts entre fils de la ligne de contact. Cette tension est loin d'être exagérée, puisque, pour la future traction du chemin de fer du Loetschberg, la Commission suisse admet actuellement 16000 volts en monophasé avec retour par les rails. D'autre part, pour les lignes du Sud-France dont l'équipement s'effectue actuellement, on admet sur route et même à la traversée des localités la tension de 6000 volts en monophasé avec retour par les rails.

» La tension maxima à l'usine est de 13500 volts; la différence de potentiel maxima entre conducteurs et la terre peut donc atteindre 6500 volts, mais la différence de potentiel moyenne ne sera que de 2230 volts. Cette dernière valeur est très voisine de celle de 2000 volts, adoptée dans des installations récentes de traction par courant continu à potentiel constant.

» Le conducteur principal est constitué par un câble en cuivre de 150 mm² de section et de 100 km de longueur; sa résistance est de 0,117 ohm par kilomètre, et la perte correspondante est de 1750 volts.

» Les lignes de contact ont un profil en 8 aplati de 65 mm² de section donnant une résistance de 0,27 ohm, soit une perte de 40 volts par kilomètre. La ligne équipée comprend 29 sections pour 100 km; la longueur moyenne d'une section est de 3,45 km; la perte moyenne par train sera donc de 140 volts. Avec deux trains simultanément sur la ligne, la perte totale moyenne dans les conducteurs de contact sera de 280 volts. Cette valeur, ajoutée aux 1750 volts de perte du conducteur principal, donne 2030 volts de perte totale, soit sensiblement 300 kilowatts, chiffre indiqué précédemment.

» On voit donc que toute l'installation fixe se borne à une usine génératrice de 3000 kilowatts, sans transformateur ni tableau compliqué, et à des lignes aériennes où il entre en tout 135 tonnes de câble de cuivre pour le conducteur principal et 125 tonnes de fils de contact, plus les supports, les isolateurs et les interrupteurs néces-

saires ; cela pour l'exploitation d'un chemin de fer à fortes rampes de 52 km de longueur à double voie ayant un trafic de 6000 tonnes utiles par jour.

» L'équipement des locomotives demande, d'autre part, un appareillage restreint et de manœuvre très facile ; le système de traction que je viens de vous présenter offre donc, dans tout son ensemble, le sérieux avantage de la grande simplicité, et c'est là sa principale caractéristique.

» Après ce rapide exposé, je désire remercier tout particulièrement M. Potterat, auteur de ces travaux intéressants, pour la Communication qu'il m'a donné l'occasion de faire à notre Société ; je souhaite ardemment qu'une réalisation très prochaine sanctionne pratiquement les avantages de ce système et nous donne ainsi une nouvelle solution du problème de la traction électrique sur les grandes lignes de chemins de fer.

» En vous demandant de vous unir à ce vœu, permettez-moi, Messieurs et chers Collègues, de vous remercier sincèrement de la bienveillante attention que vous avez bien voulu accorder à ma Communication. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Bourdel de l'intéressante Communication qu'il a présentée avec beaucoup de clarté.

Le dépouillement du scrutin étant terminé, M. le PRÉSIDENT proclame les résultats suivants du vote pour le renouvellement partiel du Comité d'administration et l'élection de la Commission des Comptes :

Suffrages exprimés	321
Majorité	161

PRÉSIDENT :

Pour l'exercice 1910-1911.

MM.

BOCHET (A.), Ingénieur en chef de la <i>Maison Harlé et Cie</i>	319
---	-----

Nombre
de voix
obtenues.

VICE-PRÉSIDENTS :

ARMAGNAT (H.), Ingénieur-Conseil	318
BRUNSWICK (E.), Ingénieur en chef de la <i>Maison Bréguet</i>	303

SECRÉTAIRE GÉNÉRAL :		Nombre de voix obtenues.
MM.		
VALBREUZE (R. DE), Ingénieur électricien.....		317

SECRÉTAIRES :

Pour 3 ans.

BETHENOD (J.), Ingénieur électricien.....	320
GUÉRY (F.), Ingénieur électricien.....	319

Pour 1 an.

MONGIN (E.), Ingénieur.....	317
-----------------------------	-----

MEMBRES :

Pour 3 ans.

ABRAHAM (H.), Maître de conférences à l'École Normale supérieure.	320
BROCA (Dr), Agrégé de la Faculté de Médecine.....	321
CHAUMAT (H.), Sous-Directeur de l'École supérieure d'Électricité.	319
CLAUDE (G.), Ingénieur.....	319
DESROZIERES (E.), Ingénieur électricien.....	320
ESCHWÈGE (P.), Ingénieur civil des Mines.....	317
FONTAINE (E.), Secrétaire général du Syndicat professionnel des Usines d'Électricité.....	317
JOUAUST (R.), Chef de travaux au Laboratoire central d'Électricité.	319
JUMAU (L.), Ingénieur électricien.....	319
LAURIOL (P.), Ingénieur en chef des <i>Services d'éclairage de la Ville de Paris</i>	319
LEGOUEZ (R.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.....	319
MEYER (F.), Directeur de la <i>Compagnie continentale Edison</i>	319
MONMERQUÉ (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.....	318
POINCARÉ (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique.....	320
REY (J.), Gérant de la <i>Maison Harlé et Cie</i>	317
TAINTURIER (C.), Directeur de l' <i>Usine électrique des Moulineaux</i> .	319

Pour 2 ans.

VAUTIER (T.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.....	317
---	-----

Pour 1 an.

CELLERIER, Directeur du Laboratoire d'essais au Conservatoire na- tional des Arts et Métiers.....	316
--	-----

COMMISSION DES COMPTES :

ALIAMET (M.), Inspecteur chef du Laboratoire électrotechnique du Chemin de fer du Nord	320
BOISTEL (E.), Ingénieur-Conseil	319
BROCQ, Ingénieur des Arts et Manufactures.....	320

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT SORTANT.

M. BOUCHEROT. — « Messieurs, je dois maintenant remettre mes pouvoirs à mon successeur.

» C'est animé des plus réels sentiments de reconnaissance, pour l'honneur que vous m'avez fait en m'appelant à cette présidence, que je reprendrai ma place dans le rang, avec l'espoir de pouvoir encore faire preuve longtemps de mon sincère attachement à notre chère Société, soit par les moyens qui sont à la portée de chacun de nous, soit en vertu des prérogatives des anciens présidents.

» Je dois de nombreux remerciements aux personnes qui m'ont prêté leur concours : tout d'abord à ceux des anciens présidents qui ont bien voulu me dispenser leurs conseils, plus particulièrement à MM. Hillairet et Picou, qui, comme vous savez, pour avoir quitté la présidence depuis nombre d'années, n'en continuent pas moins à s'occuper des affaires de la Société avec une activité et un dévouement inlassables; puis aux vice-présidents et à notre infatigable secrétaire général.

» M. Armagnat vous a rappelé tout à l'heure les Communications et discussions qui ont occupé nos séances plénières et expliqué qu'elles étaient, pour une bonne part, le résultat des travaux des Sections du Comité; parmi les présidents de ces Sections, je tiens à remercier plus particulièrement M. Devaux-Charbonnel pour la vigueur qu'il a su communiquer à la cinquième Section.

» Puisque j'ai le privilège d'être un des plus jeunes parmi les présidents qui se sont succédé à cette place, je veux en profiter pour rendre particulièrement hommage à l'ancienneté, dans les personnes de MM. Violet et Sabourain.

» M. Sabourain est secrétaire du Comité depuis l'origine de la

Société, c'est-à-dire que, depuis plus de 25 ans, il assume la charge de rédiger les procès-verbaux des réunions mensuelles, des assemblées générales, des réunions du Comité et du Bureau : aussi loin que je puis reporter ma mémoire, je vois toujours M. Sabourain ici, à la droite du président; mais, des présidents de cette époque, il ne reste que M. Georges Berger!

» Vous savez aussi comment nous sommes redevables à M. Violet du bon état de nos finances. M. Violet est notre trésorier depuis le mois d'avril 1896, c'est-à-dire depuis 13 ans. Pour saisir toute l'importance du travail qu'il a donné pendant ce temps à la Société, il suffit de jeter les yeux sur les totaux éloquentes qui matérialisent sa vitalité : 276000 fr pour les comptes de l'exercice 1908 et 907000 fr pour le bilan au 31 décembre 1908.

» MM. Violet et Sabourain personnifient ainsi l'effort continu, persévérant et désintéressé de la Société même, grandissant avec calme au milieu des événements les plus divers, depuis un quart de siècle.

» Voici en effet le moment venu, Messieurs, où les principales Sociétés électrotechniques du monde célèbrent le 25^e anniversaire de leur fondation. C'est ainsi que l'American Institut of Electrical Engineers réunissait ses membres à cet effet le 11 mars dernier dans un banquet : j'ai fait parvenir à cette Société en votre nom un télégramme de félicitations et de souhaits. D'autre part, le 20 du même mois, la Société belge des Électriciens fêtait cet anniversaire dans un banquet auquel elle m'avait invité à participer comme président de notre Société, en même temps que d'autres présidents de Sociétés étrangères; je suis allé à Bruxelles pour vous représenter et apporter à nos collègues belges l'expression de vos sympathies; j'y ai reçu évidemment le meilleur accueil et j'ai été chargé de vous exprimer les remerciements de la Société belge pour votre acte de courtoisie.

» Mais à ce sujet peut-être vous demanderez-vous pourquoi, notre Société ayant dépassé très largement sa 25^e année, nous n'avons pas marqué d'une pierre blanche cette première période d'activité, comme nos collègues étrangers. Voici la réponse : votre Bureau avait voulu organiser une manifestation très importante à cette occasion; il avait nommé une Commission chargée de préparer une fête

de plusieurs jours à laquelle nous voulions donner le plus d'éclat possible; mais la maladie, puis la mort de M. Mascart, qui présidait cette Commission, ont interrompu ces préparatifs et détruit nos projets. Nous les reprendrons, j'espère, à une prochaine occasion.

» M. Armagnat et M. Janet vous ont fait part des principaux faits intéressants de l'année qui vient de s'écouler, se rattachant soit aux services généraux de la Société, soit à ses institutions. Je ne crois pas superflu de vous communiquer quelques détails complémentaires :

» J'ai omis de vous dire en temps voulu que l'Institution of Electrical Engineers de Londres nous a adressé des remerciements pour la médaille d'or à l'effigie d'Ampère que nous lui avons fait parvenir, en souvenir de la cordiale réception qu'elle fit à ceux d'entre nous qui se rendirent à son invitation en 1906.

» La souscription pour l'érection du monument Mascart est close, comme vous savez; elle a fourni environ 8000 fr, que la Commission spéciale, formée à cet effet et présidée par M. H. Fontaine, emploiera on ne pourrait mieux à perpétuer la mémoire du Maître.

» Vous connaissez la part importante prise par la Société dans la formation de la Commission électrotechnique internationale et du Comité électrotechnique français; bien que constituant un organisme indépendant, celui-ci, se souvenant de ses origines, a renvoyé à notre Société l'étude de l'internationalisation des symboles en Électrotechnique, et nous avons formé une Commission spéciale chargée de cette étude, dont le travail est assez avancé.

» Par le Rapport de la Commission des Comptes, vous avez appris que, pour la première fois depuis sa fondation, le Laboratoire a pu équilibrer ses dépenses et ses recettes. La Commission des Comptes de l'an dernier avait émis le vœu qu'une comptabilité des prix de revient des essais fût instituée au Laboratoire, afin d'en améliorer, si possible, les résultats financiers; ce vœu a reçu la suite qu'il comportait, et cette comptabilité a été créée pour les cas possibles. Mais il ne faudrait pas voir dans le résultat financier de cette année une conséquence immédiate de cette mesure : la comptabilité n'a pas une telle vertu; ce sont les efforts combinés du directeur et de son dévoué personnel qui commencent à donner des fruits : la

mesure en question permettra cependant d'en augmenter le nombre.

» Le Ministre des Travaux publics a institué une Commission chargée d'élaborer une instruction sur les soins à donner aux électrocités; M. le Dr Weiss, président, et M. Hillairet, membre de cette Commission, ont pensé qu'il ne fallait pas s'en tenir aux antiques recommandations, et qu'il convenait de se livrer avant tout à de nombreuses expériences sur des animaux, pour déterminer avec précision, d'abord les effets du courant, puis les moyens d'annihiler ces effets. Sur une proposition de M. Hillairet, le Bureau de notre Société a alors attribué les arrérages du legs Cheux au Laboratoire pour que M. Weiss, de concert avec M. Janet et le personnel, puisse y effectuer des expériences d'électrophysiologie. Les résultats des premières expériences, faites sur des chiens, sont déjà fort instructifs et parfois surprenants; ces travaux seront portés à la connaissance de tous les membres, sous forme de Communications.

» Vous avez vu par le Rapport de M. Janet comment l'École continue à prospérer et qu'il a fallu, cette année, accomplir des prodiges pour trouver place à tous les élèves admis. Tous ceux qui ont travaillé au succès de cette institution se réjouiront de ce résultat.

» Le Ministre du Commerce et de l'Industrie nous a fait preuve, d'autre part, de l'intérêt que porte l'État à cette fondation, en venant la visiter il y a quelques mois.

» Sur l'initiative de M. Picou, le Comité a modifié le règlement de l'École; vous verrez à l'*Annuaire* que l'ancien Conseil de perfectionnement a été scindé en deux parties : une Commission administrative, chargée réellement, comme son nom l'indique, de l'administration, et un Conseil de perfectionnement, n'ayant à connaître que des questions d'enseignement.

» Qu'il me soit permis, puisque je viens de parler du Laboratoire et de l'École, d'exprimer les remerciements de la Société au savant aussi modeste que consciencieux qui a bien voulu prendre la succession de M. Mascart à la tête de ces institutions. Dès le jour où M. Bouty fut des nôtres, nous pûmes constater tous avec quelle sympathie il s'intéressait à nos œuvres : le désir, exprimé par M. Mascart peu de temps avant sa mort, de l'avoir comme succes-

seur dans la direction des institutions qu'il avait fondées, ne pouvait pas se trouver plus en accord avec le sentiment général.

» Nous devons encore des remerciements aux directeurs, sous-directeurs et chefs de travaux du Laboratoire et de l'École, et en général à tout le personnel de la Société, pour les preuves de dévouement qu'il ne cesse de nous donner.

» Vous avez vu, Messieurs, par les différents documents qui vous ont été lus ce soir, que notre Société continue à accroître, non seulement le nombre de ses membres, mais sa sphère d'influence sur le monde extérieur. Votre Bureau étudie encore divers projets propres à augmenter ses moyens d'action, qui pourront être mis à exécution, j'espère, avant peu.

» Il me reste à présenter des souhaits de bienvenue à nos nouveaux élus. Tous ont acquis des titres à la reconnaissance de la Société, soit par la valeur de leurs travaux personnels, soit par l'intérêt de leurs Communications en séances, soit par l'assiduité de leur collaboration aux travaux des Sections, soit par des services rendus dans de précédentes fonctions ou à nos institutions; et tous en acquerront de nouveaux, j'espère, dans l'exercice de leurs nouvelles fonctions.

» Je vais prier M. Pellat de prendre ma place.

» Bien que nous soyons ici en majorité des ingénieurs, je n'ai pas besoin de vous présenter ce physicien éminent qui a pris part maintes fois à nos travaux. Vous connaissez tous ses recherches sur les différences de potentiel au contact des métaux, et ses théories à ce sujet; son électrodynamomètre absolu et les études longues et minutieuses auxquelles il s'est livré avec cet appareil, soit pour la détermination de l'ampère, soit pour la mesure du rapport entre les unités électrostatiques et les unités électromagnétiques; son appareil pour la mesure des pouvoirs inducteurs spécifiques; sa théorie électrostatique non fondée sur les lois de Coulomb; et quantité d'autres travaux sur des sujets très divers: électrisation des nuages, forces électromotrices de combustion, entraînement des ondes lumineuses, thermodynamique, électricité par évaporation, oscillations électriques, rayons cathodiques, etc., etc.

» C'est un grand honneur pour moi d'avoir à céder ma place à un savant comme M. Pellat. »

M. H. PELLAT, Président entrant, remercie M. Boucherot des paroles élogieuses qu'il vient de lui adresser et remet à la prochaine séance le prononcé de son allocution.

La séance est levée à 11^h5^m du soir.

CORRESPONDANCE.

M. BLONDEL. — « Dans leur intéressante Communication de décembre 1908 MM. Bellini et Tosi, tout en citant courtoisement les aériens dirigeables que j'ai décrits à l'Association française à Angers en 1903, les ont assimilés à ceux décrits dans un brevet anglais de S.-G. Brown (1899) qui n'a fait l'objet d'aucune publication scientifique, à ma connaissance. Ayant eu la curiosité de me procurer ce brevet, j'ai le regret de ne pouvoir partager la manière de voir de MM. Bellini et Tosi, et j'ai engagé avec eux, dans le journal *La Lumière électrique* des 13, 20 mars et 10 avril 1909, une correspondance contradictoire à ce sujet, à laquelle ceux de nos collègues que la question intéresse pourront se reporter s'ils le désirent; c'est pourquoi je crois devoir leur signaler aujourd'hui mon désaccord et cette correspondance. »

Turin, le 7 avril 1909.

*Monsieur le Secrétaire général de la Société internationale
des Électriciens, à Paris.*

CHER MONSIEUR,

En réponse à votre estimée du 4 avril, nous avons l'honneur de vous adresser notre réponse à la Note nouvellement rédigée dont M. Blondel a demandé l'insertion dans le Bulletin.

Veuillez agréer, cher Monsieur, l'assurance de nos meilleurs sentiments.

E. BELLINI et A. TOSI.

MM. BELLINI et TOSI. — « La correspondance contradictoire à ce sujet ayant été déjà engagée dans *La Lumière électrique* entre M. Blondel et nous, nous nous abstenons de toute discussion dans le *Bulletin*, car elle serait superflue et mal placée dans un organe purement technique. »

BIBLIOGRAPHIE.

Les Merveilles de la Science, nouvelle édition entièrement revue et mise à jour, par MAX DE NANSOUTY. Tome I : *Chaudières et Machines à vapeur*. 1 vol. in-8 de 720 pages. Paris, Boivin et C^{ie}.

C'est une refonte complète de l'œuvre si répandue du grand vulgarisateur scientifique Louis Figuier, que M. de Nansouty a vaillamment entrepris de publier sous le même titre. Travail ingrat et difficile, dit M. Alfred Picard dans la Préface qu'il a consacrée aux nouvelles *Merveilles de la Science*, car « il exige de celui qui l'entreprend un savoir étendu, l'oblige à sacrifier dans une large mesure sa personnalité, lui impose en quelque sorte une incarnation du prédécesseur, lui assigne un cadre dépourvu d'élasticité, n'ajoute guère à son renom...

» On ne peut que se féliciter, ajoute-t-il, de voir M. Max de Nansouty assumer une tâche si délicate. Nul n'eût réuni au même degré les qualités voulues pour réussir. Rien ne lui est étranger du domaine des sciences et notamment des sciences appliquées. Explorateur infatigable, il a parcouru ce domaine dans ses parties les plus reculées. La nature l'a doué d'un admirable talent d'exposition. Sachant rendre accessibles les questions les plus ardues, imprimant aux études les plus austères une allure attrayante et spirituelle, maniant avec aisance la plume vive et alerte d'un Français de race, il personnifie le vulgarisateur compris et aimé du public. »

C'est d'ailleurs dans l'esprit le plus large que M. de Nansouty a compris la nouvelle œuvre à édifier. La multiplicité des applications de la Science, leur pénétration de la vie contemporaine ont créé un esprit nouveau. Autrement nombreux qu'à l'époque de Louis Figuier, ceux qu'intéresse le mouvement scientifique sont également plus avertis, déjà initiés, et réclament des notions plus précises, plus variées, plus approfondies. Le coup d'œil d'ensemble ne leur suffit plus, ils veulent savoir. Pour eux, sans renoncer aux méthodes de clarté qui firent le succès de la première œuvre, le cadre devait s'élargir jusqu'à se briser et donner place à une documentation autrement abondante, substantielle et pratique.

Dès le premier Volume des *Merveilles de la Science : Chaudières et Machines à vapeur*, on reconnaîtra à quel point a été réalisé ce double desideratum d'une œuvre vraiment en harmonie avec le progrès, de même qu'appropriée au degré d'initiation réclamé aujourd'hui.

Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques : Courants alternatifs, par S.-P. THOMPSON. Traduit et adopté de l'anglais sur la 7^e édition, par E. Boistel (4^e édition française).

La forme simple qu'affecte le professeur S.-P. Thompson, le soin que prend son habituel traducteur, M. Boistel, dans la transposition des notations amphigouriques du

système de mesures anglais, expliquent l'accueil sympathique que le public réserve aux éditions répétées du *Traité des machines dynamo-électriques*.

Cette fois, c'est en un Volume de 900 pages que l'auteur traite la question des machines à courants alternatifs mise au point des dernières connaissances acquises.

Signalons, parmi les matières dont l'exposition est présentée sous une forme nouvelle, le Chapitre consacré à la dispersion d'induit et celui relatif aux projets ou études de construction.

Les alternateurs actionnés par turbines à vapeur sont également l'objet d'un important Chapitre tout d'actualité.

En résumé, Ouvrage particulièrement documenté et à consulter avec fruit.

Et pour terminer, rapportons cette *remarque-épilogue* du traducteur, à laquelle il est permis de s'associer, à savoir « qu'il est aussi peu parlé que possible, dans l'Ouvrage considéré, de la France et des travaux de ses savants ou ingénieurs, qui portent cependant et défendent le drapeau de l'homogénéité et de la précision de langage ». Il est bien inexplicable, en effet, que les travaux français qui ont contribué cependant à donner quelque éclat scientifique et pratique à l'industrie électrique soient ignorés, semble-t-il, systématiquement dans un Volume aussi copieux. Les noms des Boucherot, des Leblanc, pour ne parler que de ceux-là, sont-ils donc étrangers aux auteurs anglais, et ne mériteraient-ils pas des emprunts aussi justifiés que d'un réel intérêt?

Die Kraftfelder (*Le champ magnétique*), avec 29 figures dans le texte, par V. BJERKNES, professeur de Mécanique et de Physique mathématique à l'Université de Christiania. Fr. Vieweg et fils, imprimeurs-éditeurs, à Braunschweig (dans la collection des monographies des Sciences naturelles et mathématiques).

Les théories de Maxwell et les travaux de Hertz ont conduit à la considération des grandeurs vectorielles magnétiques et électriques sans que la connaissance de la nature intime du champ magnétique ait été encore approfondie.

Le présent Volume a pour objet de présenter les résultats d'une longue série de recherches entreprises dans le but de jeter quelque lumière sur une question encore obscure.

L'auteur a opéré, non pas spécialement sur les champs électromagnétiques, mais plutôt sur les champs analogues qu'on rencontre dans les fluides et dans les milieux doués de propriétés électriques; il est arrivé ainsi à une méthode d'étude simple confirmant les résultats acquis jusqu'alors avec peine, en traitant des deux classes de champs hydrodynamiques envisagées par C.-A. Bjerknes et par Euler et Kelvin. Les analogies de ces deux systèmes avec les champs électrostatiques ou magnétiques sont mises en évidence par la description des recherches ayant servi à la vérification des résultats.

Parmi les plus importants Chapitres de ce travail de haut intérêt, signalons ceux relatifs aux actions à distance, aux corps pulsatoires et champs développés par ceux-ci, à la théorie des champs vectoriels, ainsi que celui consacré aux champs de forces dans les milieux fluides doués de propriétés gyrostatiques.

Le Machinisme; son rôle dans la vie quotidienne, par MAX DE NANSOUTY.
1 vol. Paris, Pierre Roger et C^{ie}, 1909.

Sous une forme aussi pittoresque qu'attrayante, mais avec une documentation précise et moderne, l'auteur publie une série de conférences au cours desquelles il fait ressortir tout ce que la vie de chaque jour doit à la *machine* et l'énorme contribution qu'elle apporte à l'amélioration du bien-être général.

Après un rapide coup d'œil d'ensemble sur le machinisme, il montre son rôle dans les industries de l'alimentation et du vêtement, dans les ateliers et dans l'industrie moderne (machines-outils), dans les transports en commun (chemins de fer, tramways, etc.), dans les transports maritimes, ainsi que dans les industries minières et métallurgiques; puis ce sont les divers modes de production et d'utilisation mécaniques de l'électricité, le galvanisme et les ondes hertziennes, l'automobilisme; enfin, ses services dans la vie privée et ce qu'elle permet d'obtenir de la *houille verte* pour le château, la ferme et les petites industries locales.

L'Année électrique, électrothérapique et radiographique, en 1908,
par le D^r FOVEAU DE COURMELLES. (9^e année.) 1 vol. Paris, Ch. Béranger, 1909.

De même que celles qui l'ont précédée, la neuvième *Année électrique* du D^r Foveau de Courmelles résume et rappelle tous les faits d'électrothérapie et de radiographie de l'année écoulée.

Les progrès de la radiotélégraphie, de la radiotéléphonie et de la téléphotographie y sont clairement relatés, ainsi que des données plus précises sur les ions, la haute fréquence, le radium, etc. Les Chapitres affectés au chauffage électrique, à la lumière, à l'électrochimie, à la traction, à l'électricité atmosphérique et à la sécurité électrique résument les plus importants progrès réalisés dans ces branches de l'électricité.

Calcul électrique et mécanique des distributions d'énergie, par J.-H. JACOBSEN.

Brochure 16^{cm} × 24^{cm}, 40 pages, 19 figures et 2 planches. Prix : 2 fr. 25. En vente au siège de l'Association des anciens Élèves de l'École pratique d'Électricité industrielle et chez l'auteur.

On trouve dans cette brochure les renseignements nécessaires pour le calcul des lignes électriques aériennes aux points de vue électrique et mécanique.

L'auteur a résumé, en particulier, une partie des très belles études de M. A. Blondel, ce qui évitera des recherches dans les Ouvrages et périodiques où ces études ont été publiées.

Les problèmes examinés dans l'Ouvrage sont limités à ceux concernant les lignes aériennes assez courtes pour qu'il soit pratiquement suffisant de considérer la résistance et la self-induction; les questions relatives aux câbles souterrains et aux très longues lignes aériennes, où la capacité joue un rôle important, n'ont pas été étudiées.

Néanmoins, comme le premier cas est le plus fréquent, cette brochure d'apparence modeste rendra de grands services à tous ceux qui ont à s'occuper de calculs des lignes aériennes.

Agenda Dunod pour 1909 : Électricité, par J.-A. MONTPELLIER. 1 volume 10^{cm} × 15^{cm} relié en peau souple, 300 pages de texte et 128 pages blanches. Dunod et Pinat, éditeurs. Prix : 2 fr. 50 c.

Cet Agenda est toujours fort bien accueilli par les Électriciens; aussi est-il superflu de le recommander à nouveau.

Cette année, M. Montpellier a inséré une série de documents officiels relatifs aux distributions d'énergie électrique : loi du 15 juin 1906; arrêté ministériel sur les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique; cahiers des charges types pour les concessions de distributions publiques par les communes ou par l'État; décret relatif à la fixation des redevances pour l'occupation du domaine public; organisation du service de contrôle des distributions d'énergie électrique; listes des ingénieurs en chef chargés de ce contrôle et des membres du Comité d'électricité, etc.

On trouvera, en outre, dans l'Agenda, une nomenclature de tramways électriques classés par départements. Cette nomenclature comprend la raison sociale de la société exploitante; la longueur du réseau, la largeur de la voie; le système d'amenée du courant aux voitures; le service de transport (voyageurs, messageries) assuré par la compagnie et la date de mise en service.

Téléphonie sans fil, par ERNST RUHMER. Traduit de l'allemand par L. Ancel, ingénieur des Arts et Manufactures. Librairie générale scientifique et industrielle, H. Desforges, Paris.

M. A. Blondel, dans la Préface qu'il a accordée à la traduction de l'Ouvrage de M. Ruhmer, s'exprime ainsi :

« ... Cet Ouvrage répondait à un véritable besoin dans la littérature technique électrique, car aucun exposé didactique, suffisamment complet, des recherches effectuées de divers côtés en vue de la réalisation et de la transmission électrique de la parole à travers l'espace, sans fil conducteur intermédiaire, n'avait été encore publié par un spécialiste compétent et expérimenté lui-même dans cette technique nouvelle. »

Ces lignes, émanant d'une aussi haute autorité, suffisent à présenter l'auteur et son travail.

Signalons, parmi les questions traitées, la Photophonie, les résultats obtenus dans la construction des cellules de sélénium, les phénomènes de l'arc chantant et une documentation générale très importante.

En attendant les progrès que réserve l'avenir, le Volume de M. Ruhmer met bien au point l'état présent, et, comme tel, offre une précieuse source de renseignements au public désireux d'une initiation à une science nouvelle et aux résultats pratiques qu'on est en droit d'en attendre.

Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité,
par A. MONMERQUÉ.

Appendice contenant la loi du 15 juin 1906 et ses annexes, décrets, règlements et circulaires émanant des Ministères des Travaux publics, des Postes et Télégraphes, du Travail et de la Prévoyance sociale.

Rien à ajouter à ce titre, qui indique suffisamment les matières contenues dans ce complément au *Contrôle des installations électriques*, du même auteur.

Die atmosphärische Elektrizität. Methoden und Ergebnisse der modernen Luftelektrischen Forschung (*L'électricité atmosphérique. Méthodes et résultats des recherches modernes*), par H. MACHE et E. v. SCHWELDER. Avec 20 figures dans le texte. Vieweg et fils, éditeurs, à Braunschweig.

Les recherches sur l'électricité atmosphérique ont pris, depuis une dizaine d'années, une orientation nouvelle en raison des connaissances acquises sur les phénomènes électriques dans les milieux gazeux et de la découverte des substances radioactives.

Il en est résulté de nouvelles méthodes d'observation jusqu'ici disséminées dans les périodiques. Les auteurs ont pensé faire œuvre utile en les coordonnant en un Recueil divisé en sept Chapitres d'un intérêt remarquable, dont nous indiquons ci-après les titres : le champ électrique, la conduction de l'électricité et les ions, les ionisateurs et les électrisateurs, les courants électriques atmosphériques, les décharges lumineuses, et enfin les théories de l'électricité atmosphérique.

Une bibliographie très importante complète le Volume, qui tient, sous le numéro 30, une place des plus remarquables dans la collection des monographies mathématiques et des sciences naturelles.

Le four électrique, son origine, ses transformations et ses applications, par A. MINET. H. Desforges, éditeur. Paris, 1908.

Sous ce titre, l'Auteur fait paraître un Volume en plaquettes. La brochure actuelle, de 30 pages, est le troisième fascicule de l'Ouvrage. Le premier fascicule, consacré à la partie historique, est paru en 1905. Le second traitera surtout de l'électrometallurgie de l'aluminium; il est en préparation ainsi que le fascicule IV, où l'auteur compte s'occuper des fours de laboratoire et des industries se rattachant au four électrique.

M. Minet étudie cette fois les dispositions générales des fours électriques, décrit les appareils de mesure du courant et les pyromètres indiquant la température obtenue dans les fours.

Il termine par deux Notes envoyées à l'Académie des Sciences en 1907 et 1908, relativement à la *Différence de potentiel de l'arc à courant continu entre électrodes métalliques*, et *Sur l'arc jaillissant dans une enceinte limitée par une paroi épaisse*.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 3 heures à 6 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Baron Lomet (Le) (1759-1826), par Maurice VÉCHEMBRE. Agen, Maison d'édition et Imprimerie moderne, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)

Consommation (La) des chaudières à vapeur et l'économie en combustible, par D. SIDERSKY. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, s. d. [1909]; 1 vol. in-8°, broché (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Construction des induits à courant continu : coussinets, paliers et autres organes de transmission, par E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, s. d. [1909]; 1 vol. in-8°, broché (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). (*Don de M. Gauthier-Villars.*)

Électrotechnique (L') exposée à l'aide des Mathématiques élémentaires. Tome I : L'énergie et ses transformations; phénomènes magnétiques, électriques et électromagnétiques; mesures usuelles, par N.-A. PAQUET, A.-C. DOCQUIER et J.-A. MONTPELLIER. Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Éléments de la théorie des probabilités, par Émile BOREL (*Cours de la Faculté des Sciences de Paris*). Paris, A. Hermann et fils, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Études sur Léonard de Vinci. Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu, par Pierre DUHEM. Seconde série. Paris, A. Hermann et fils, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Formulaire de l'électricien et du mécanicien, de E. HOSPITALIER. 23^e édition (1909), par Gaston Roux. Paris, Masson et C^{ie}, 1909; 1 vol. in-16, cartonné toile. (*Don de l'éditeur.*)

Machines-outils, outillage, vérificateurs, notions pratiques (200 schémas dans le texte), par P. GORGEU. Paris, Gauthier-Villars, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Oscillations (Les) électromagnétiques et la télégraphie sans fil, par le Dr ZENNECK. Ouvrage traduit de l'allemand par P. BLANCHIN, G. GUÉRARD, E. PICOT. Paris, Gauthier-Villars, 1908; 2 vol. in-8°, brochés. (*Don de l'éditeur.*)

Passé (Le), le présent et l'avenir de l'éclairage, par Émile GUARINI. Paris, en vente chez Dunod et Pinat, s. d. [1909]; 1 brochure in-8°. (*Don de l'éditeur.*)



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 282. — Correspondance (Lettre de M. P. Janet), p. 282.
— Allocution de M. le Président Pellat, p. 284. — Théorie électronique des courants et de leurs propriétés (M. Pellat), p. 285. — Sur certaines conditions du problème de la traction (M. J. de Traz), p. 299. — Discussion de la Communication de M. Bourdel sur la traction par courant continu à intensité constante (MM. Legouez, Bourdel, Perret), p. 321.

BIBLIOGRAPHIE, p. 329.

OUVRAGES OFFERTS, p. 332.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 5 mai 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir.

Le procès-verbal de l'Assemblée générale et de la réunion mensuelle d'avril est adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque de la Société (voir p. 332) et des demandes d'admission suivantes :

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Bertin (Henri), Élève à l'*École pratique d'Électricité industrielle*, 19, rue Duvivier, à Paris. — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

Dazelle (Gaspard-Louis-François-Valentin), Ingénieur électricien de la *Maison Brandt et Fouilleret*, 66, boulevard Magenta, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Siegler (Jean-Paul), Ingénieur au Corps des Mines, 1, rue Jean-Bologne, à Paris. — Présenté par MM. Mouchard et Petsche.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le SECRÉTAIRE GÉNÉRAL donne lecture du document ci-après :

Paris, le 26 avril 1909.

Monsieur le Président
de la Société internationale des Électriciens,
14, rue de Staël, Paris.

« MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

» Dans le but de déterminer aussi soigneusement que possible les rapports des unités photométriques d'Amérique, de France, d'Allemagne et de Grande-Bretagne, des comparaisons furent faites à différentes reprises durant les dernières années entre les unités lumineuses conservées au Bureau of Standards de Washington, au Laboratoire central d'Électricité de Paris, à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt de Berlin et au National Physical Laboratory de Londres.

» L'unité lumineuse du Bureau of Standards a été conservée par l'intermédiaire d'une série de lampes à incandescence électriques dont les valeurs avaient été déterminées à l'origine en fonction de l'hefner.

» L'unité lumineuse du Laboratoire central d'Électricité est la bougie décimale, vingtième de l'étalon défini par la Conférence internationale des Unités de 1884, et qui est prise comme 0,104 de la lampe Carcel conformément aux expériences de M. Violle.

» L'unité lumineuse de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt est donnée par la lampe Hefner brûlant dans une atmosphère à la pression barométrique normale (76 cm) et contenant 8,8 litres de vapeur d'eau par mètre cube.

» L'unité lumineuse du National Physical Laboratory est donnée

par la lampe de 10 candles au pentane de Vernon-Harcourt brûlant dans une atmosphère à la pression barométrique normale (76 cm) et contenant 8 litres de vapeur d'eau par mètre cube.

» Outre les comparaisons directes des lampes à flamme effectuées récemment dans les Laboratoires nationaux d'Europe, des mesures furent faites en 1906 et en 1908 entre les unités européennes et américaines par l'intermédiaire de lampes électriques à filament de carbone soigneusement étudiées, et le résultat de toutes ces comparaisons donne les relations suivantes entre les unités lumineuses énumérées ci-dessus :

» Aux erreurs d'expérience près, l'unité anglaise au pentane a la même valeur que la bougie décimale ; elle est de 1,64 pour 100 moindre que la bougie étalon des États-Unis d'Amérique et 11 pour 100 plus grande que l'unité Hefner.

» Le Bureau of Standards a pris l'initiative de provoquer l'unification des mesures lumineuses en Amérique, en Angleterre et en France, et, dans ce but, a proposé de réduire son unité lumineuse de 1,6 pour 100. La date fixée pour ce changement est le 1^{er} juillet 1909.

» A partir de cette date, dans les limites de précision nécessaires pour les besoins de la pratique industrielle, on pourra utiliser les rapports suivants :

» 1 bougie décimale = 1 bougie américaine = 1 bougie anglaise, et l'unité Hefner sera considérée comme égale à 0,9 de cette valeur commune.

» Le Bureau of Standards d'Amérique, le National Physical Laboratory d'Angleterre et le Laboratoire central d'Électricité se sont mis d'accord pour assurer la constance de cette unité lumineuse commune.

» Sur l'initiative du Comité électrotechnique français, puis du Comité électrotechnique britannique, la Commission électrotechnique internationale a été saisie d'une proposition tendant à donner à cette unité lumineuse commune le nom de *bougie internationale*.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de ma considération très distinguée.

» *Le Directeur du Laboratoire,*

» P. JANET. »

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT ENTRANT.

« MES CHERS COLLÈGUES,

» J'ai été extrêmement surpris lorsque j'ai appris que j'avais été proposé à vos suffrages comme président pour l'exercice 1909-1910. C'est vous dire combien je m'attendais peu à ce grand honneur, combien j'en ai été flatté, et combien je vous en suis reconnaissant.

» Dans leur allocution, en prenant place au fauteuil, plusieurs de nos anciens présidents vous ont tracé un véritable programme, vous ont indiqué dans quelle voie l'industrie électrique devait se diriger pour se développer, et vous ont donné des conseils inspirés par une profonde connaissance de la situation industrielle. Hélas ! je ne puis en faire autant. Malgré mon admiration pour les merveilles créées par l'industrie électrique, je n'ai pu suivre que de loin ses progrès, et j'ignore ses besoins. Mais si, vu mon incompetence, vous ne pouvez attendre de moi aucune aide en matière technique, du moins pouvez-vous compter sur mon dévouement absolu à notre Société : je ne marchanderai ni mon temps ni ma peine.

» Malgré tous mes efforts, je sens que je serai impuissant à diriger la Société avec l'autorité du technicien, du savant et de l'inventeur si ingénieux qui vient de quitter la présidence. M. Boucherot a été un des présidents qui se sont le plus activement et le plus efficacement occupés de notre Société. Quelques-unes de nos Commissions étaient pleines d'activité ; d'autres somnolaient légèrement ; il les a réveillées. Son heureuse influence s'est fait sentir à l'École supérieure d'Électricité et au Laboratoire central aussi bien qu'à la Société elle-même. Je ne saurais aussi passer sous silence le rôle important joué par M. Boucherot à la Commission électrotechnique de Londres : son attitude a été très appréciée des étrangers, et tout à l'honneur de la France.

» Messieurs, on m'a demandé de vous faire, pour inaugurer ma présidence, une conférence sur un sujet d'actualité scientifique. Je ne saurais me soustraire à cette invitation, et je m'exécute. »

(*Applaudissements.*)

THÉORIE ÉLECTRONIQUE DES COURANTS ET DE LEURS PROPRIÉTÉS ⁽¹⁾.

M. H. PELLAT. — « Messieurs, le sujet d'actualité scientifique dont je vais vous parler est l'explication de la production des courants électriques et de leurs propriétés par les électrons. On vous a déjà plusieurs fois entretenu des ions et des électrons. Je vous rappellerai la belle conférence que vous a faite à ce sujet Henri Becquerel, l'éminent savant dont la Science déplore la perte récente, et les si intéressants exposés de M. Langevin. Mais c'est à un autre point de vue que je vais vous parler aujourd'hui des électrons, point de vue qui n'a pas encore été traité devant vous, si j'en juge par les comptes rendus de notre *Bulletin*.

» Pour ne pas allonger cet exposé, je me bornerai à vous indiquer les idées et les résultats, mais je n'entrerai pas dans le détail des calculs, très faciles le plus souvent, et que tout le monde peut faire.

» Examinons d'abord comment un courant électrique traverse un électrolyte. Depuis Faraday, on sait que le transport d'électricité dans ce cas se fait par des particules matérielles électrisées, les unes positivement, les autres négativement, qu'il a désignées sous le noms d'*ions*. Les uns sont constitués par l'atome du métal, entrant dans la composition du sel considéré, chargé positivement; ils se dirigent dans le sens du courant, vers la cathode par conséquent; ce sont les *cathions*. Les autres sont constitués par l'atome ou le groupement atomique constituant le radical acide, uni dans le sel à l'atome de métal, chargé négativement; ils se dirigent en sens inverse du courant, vers l'anode par conséquent; ce sont les *anions*. Cathions et anions portent une charge électrique e , la même en valeur absolue s'ils correspondent à des atomes ou groupements atomiques monovalents (K, Ag, Cl, AzO^3 , etc.), une charge égale à $2e$ s'ils sont divalents (Zn, SO^4 , etc.), une charge égale à $3e$ s'ils

⁽¹⁾ Durant cette Communication, le fauteuil de la Présidence est occupé par M. Armagnat, Vice-Président.

sont trivalents (Au, PO^4 , etc.), et ainsi de suite. Cette quantité e d'électricité est une constante universelle. Les expériences de M. Townsend ont montré qu'elle était la même que celle portée par les ions gazeux quelle qu'en soit l'origine, et les expériences d'autres physiciens, de M. J.-J. Thomson en particulier, ont montré qu'elle était aussi la même que la charge portée par un électron négatif ou corpuscule, tel que ceux qui constituent les rayons cathodiques, ou encore que ceux que la théorie de M. Lorentz imagine dans la constitution des atomes pour expliquer les phénomènes d'émission de la lumière. La détermination de cette constante universelle e a donc une importance capitale. Nous allons voir, dans un instant, comment on en a obtenu la valeur.

» Clausius, et surtout M. Svante Arrhénius, ont complété très heureusement les travaux de Faraday en montrant que dans une dissolution aqueuse d'un électrolyte le sel ou l'acide est partiellement dissocié en ses ions, même en l'absence du passage du courant ; ainsi, dans une dissolution de chlorure de potassium, il y a non seulement des molécules de chlorure de potassium, mais aussi des ions potassium et des ions chlore en liberté ; comme pour tous les électrolytes, cette dissociation électrolytique est d'autant plus considérable que la dissolution est plus étendue, devenant complète pour les dissolutions très diluées. Cette conception a expliqué un si grand nombre de phénomènes en dehors de l'électrolyse, qu'il ne reste guère de doute sur son exactitude aujourd'hui.

» Dès lors, le passage du courant et l'électrolyse, qui en est inséparable, s'expliquent très simplement : dès qu'on met les électrodes en communication avec les pôles d'une pile, un champ électrique s'établit entre elles, allant de l'anode à la cathode ; les ions métaux chargés positivement se déplacent sous l'influence du champ dans son sens, et se dirigent vers la cathode, tandis que les ions radicaux acides chargés négativement se dirigent en sens inverse du champ, c'est-à-dire vers l'anode.

» La quantité d'électricité m qui, dans un certain temps t , traverse une section quelconque de l'électrolyte est, par définition, la somme arithmétique des charges positives passant à travers la section pendant le temps t dans le sens du champ et de la valeur absolue des charges négatives passant pendant le même temps en sens inverse

du champ. L'intensité du courant étant par définition $i = \frac{m}{t}$, un calcul des plus simples fournit pour l'intensité du courant l'expression

$$(1) \quad i = K\gamma\alpha ne(v_1 + v_2)s,$$

en désignant par K le nombre très grand d'atomes qui se trouvent dans un atome-gramme ou, ce qui revient au même, de molécules qui se trouvent dans une molécule-gramme; c'est aussi une constante universelle; γ représentant la concentration moléculaire, c'est-à-dire le nombre de molécules-gramme contenues dans 1 cm³ de la solution; n la valence de l'électrolyte (1 pour le chlorure de potassium, 2 pour le sulfate de potassium, etc.); α le *degré de dissociation*, c'est-à-dire le rapport du nombre de molécules dissociées en ions au nombre total des molécules (pour les dissolutions très étendues, $\alpha = 1$); s l'aire de la section normale à la direction du champ à travers laquelle on considère le courant i ; enfin v_1 et v_2 la vitesse des cathions et celle des anions. Comme les ions se meuvent dans un milieu où ils éprouvent un frottement considérable, leur vitesse est proportionnelle à la force électrique qui agit sur eux et, par conséquent, proportionnelle à l'intensité φ du champ électrique; on a donc

$$v_1 = k_1\varphi \quad \text{et} \quad v_2 = k_2\varphi,$$

en désignant par k_1 et k_2 des coefficients appelés *mobilité des ions*, constants pour chaque espèce d'ion au moins. Il en résulte pour l'intensité du courant l'expression

$$(2) \quad i = K\gamma\alpha ne(k_1 + k_2)\varphi s,$$

d'où, pour la conductibilité c de la solution électrolytique,

$$(3) \quad c = K\gamma\alpha ne(k_1 + k_2).$$

» Un raisonnement des plus simples montre, d'autre part, que le nombre K des atomes contenus dans un atome-gramme d'un métal monovalent apportera une quantité d'électricité Ke à la cathode dans la décomposition d'un atome-gramme du sel monovalent dont il fait partie, et que Ke représente par conséquent la quantité d'électricité qu'il faut faire passer dans l'électrolyte pour en décomposer une

molécule-gramme. L'expérience fournissant 9618 unités électromagnétiques C. G. S. pour cette quantité, on a entre les deux constantes universelles K et e la relation

$$(4) \quad Ke = 9618,$$

en exprimant e avec les unités électromagnétiques C. G. S.

» Vous voyez que les deux constantes universelles K et e sont liées par une relation fort simple ; la détermination de l'une de ces grandeurs entraîne donc celle de l'autre.

» La théorie cinétique des gaz nous fournit tout d'abord un premier renseignement sur l'ordre de grandeur de K . Le nombre K serait supérieur à $13 \cdot 10^{22}$. D'autre part, le pouvoir diélectrique des gaz, si l'hypothèse de Poisson-Mossotti est exacte, conduirait à attribuer à K une valeur inférieure à $200 \cdot 10^{22}$. On a d'abord déduit de là que e doit être compris entre $7,4 \cdot 10^{-20}$ et $0,48 \cdot 10^{-20}$.

» Mais j'ai montré qu'on pouvait obtenir une valeur bien plus approchée de la charge e d'un ion monovalent rien qu'en s'appuyant sur les données expérimentales de l'électrolyse. Voici, en quelques mots, le principe de cette méthode. Sous l'action d'une force f , une sphère solide de rayon r se meut dans un milieu résistant dont le coefficient de frottement intérieur est η avec une vitesse donnée par la formule de Stokes :

$$(5) \quad v = \frac{f}{6\pi\eta r}.$$

» Un ion monovalent doit sensiblement avoir la forme d'une sphère ; sous l'influence de la force électrique $f = ze$, il se meut à travers un milieu résistant, qui, pour les solutions étendues, peut être considéré comme formé exclusivement d'eau, vu la rareté des molécules du sel ou des ions libres dans la dissolution vis-à-vis des molécules d'eau. On pourra donc faire application de cette relation de Stokes au mouvement de l'ion dans le liquide en prenant pour η le coefficient de frottement intérieur de l'eau, si l'on admet toutefois que la formule de Stokes établie pour des sphères de grand rayon par rapport à celui des atomes ou des ions est encore applicable dans le cas de sphères de rayon de même ordre de grandeur que ces derniers. Mais remarquons que, s'il n'en est pas ainsi

en toute rigueur, en l'admettant, nous ne ferons qu'une approximation qui ne peut pas nous tromper sur l'ordre de grandeur. En effet, quelque petit que soit le corps qui se déplace, les relations de dimension exigent que la formule soit de la forme $v = a \frac{f}{\eta r}$ où a est un coefficient numérique qui peut ne pas être égal à $\frac{1}{6\pi}$, comme pour les sphères de grand diamètre, mais qui ne saurait en être considérablement différent, que le corps soit parfaitement sphérique, ou que r n'indique que la moitié de sa plus grande dimension linéaire. Ce qui montre la légitimité de l'application de la relation de Stokes dans ce cas, c'est qu'on arrive ainsi à montrer que la conductibilité de la solution saline doit varier avec la température proportionnellement au même binôme que le coefficient de frottement intérieur de l'eau; or, M. Bouty a établi expérimentalement ce fait. En remplaçant dans la relation de Stokes f par sa valeur $e\zeta$ et v par sa valeur $k\zeta$, déduisant la mobilité k de l'ion des travaux de M. Bouty sur la conductibilité moléculaire des solutions salines, ce qui donne

$$k = 4,215 \cdot 10^{11} (1 + \beta t),$$

et remplaçant η par sa valeur connue $\eta = \frac{0,01782}{(1 + \beta t)}$, on obtient la relation

$$(6) \quad r = 7,06 \cdot 10^{11} e.$$

» Pour obtenir une autre relation entre r et e , supposons le métal dont l'atome possède un rayon r (ou dont la plus grande dimension linéaire est $2r$) pris à l'état solide; soient D sa densité et M sa masse moléculaire que nous confondrons avec sa masse atomique en prenant un métal monoatomique, comme le mercure. Prenons une masse M grammes de ce solide, de volume par conséquent égal à $\frac{M}{D}$, et supposons-le divisé en K cubes égaux de côté $2R$, c'est-à-dire en autant de cubes qu'il y a d'atomes, chacun de ces cubes contenant un seul atome; on aura

$$(7) \quad K 8 R^3 = \frac{M}{D}.$$

Cette relation, jointe à la précédente, permet d'éliminer K , puisque

le produit Ke est un nombre connu, et l'on obtient

$$(8) \quad e^2 = 3,69 \cdot 10^{-41} \frac{M}{D} \frac{r^3}{R^3}.$$

Or, remarquons que dans un corps solide les molécules sont bien près de se toucher; c'est ce qui a été généralement admis, vu le peu de compressibilité de ces corps; r n'est donc que peu inférieur à R , et, en prenant $r = R$ dans la relation, nous devons avoir une valeur de e à peine plus grande que sa valeur réelle; on obtient ainsi

$$(9) \quad e^2 = 3,69 \cdot 10^{-41} \frac{M}{D}.$$

En faisant application de cette relation au mercure, on obtient

$$(10) \quad e = 1,6 \cdot 10^{-20},$$

nombre qui est bien compris entre les limites fournies pour les valeurs de e en déterminant K d'après la première méthode indiquée.

» Antérieurement à cette détermination, M. J.-J. Thomson avait obtenu la charge d'un ion gazeux par une méthode qui vous a été exposée par M. Langevin. Comme M. Townsend a établi que cette charge est la valeur e de celle de l'ion électrolytique monovalent, on a ainsi une autre évaluation de cette grandeur, par une marche absolument différente de celle que je viens de vous indiquer. Dans une première série d'expériences, M. J.-J. Thomson a trouvé

$$e = 2,2 \cdot 10^{-20};$$

dans une seconde série d'expériences plus soignées, il a obtenu

$$e = 1,1 \cdot 10^{-20}.$$

Le nombre que j'ai trouvé est, comme vous le voyez, compris entre ces deux déterminations.

» Depuis, plusieurs autres méthodes ont permis encore d'obtenir ces deux constantes universelles : la méthode de Lord Rayleigh par le bleu du ciel; la méthode fondée sur le rayonnement des corps noirs; la méthode de Rutherford, où il emploie les petites étincelles qu'un grain d'un sel de radium produit sur un écran phosphorescent.

» Enfin, tout récemment, M. Jean Perrin, par l'étude du mouvement brownien, a pu encore trouver la valeur de K , et, par conséquent, celle de e . Je ne puis vous donner une idée, même approchée, de ce remarquable travail, pour lequel je vous renverrai à la belle conférence que M. Perrin vient de faire à la Société française de Physique. Les résultats obtenus par M. Perrin, et qui paraissent les plus exacts jusqu'à présent, sont

$$K = 70,5 \cdot 10^{22} \quad \text{et} \quad e = 1,37 \cdot 10^{-20}.$$

» Ce dernier nombre est presque identique à celui que j'ai trouvé.

» Toutes ces méthodes, si différentes par leur principe, donnent des résultats qui s'accordent dans les limites des erreurs des expériences, ou dans les limites d'approximation des raisonnements. N'est-ce pas là une belle preuve de la justesse de la théorie des ions et des électrons ?

» Si, tout à l'heure, je me suis un peu étendu sur les phénomènes d'électrolyse, c'est que le mécanisme du passage d'un courant dans un conducteur métallique ne paraît pas essentiellement différent.

» D'après les idées actuelles, un métal serait constitué par des molécules dans l'intervalle desquelles se déplacent continuellement des électrons négatifs identiques à ceux qui constituent les rayons cathodiques, et dont les propriétés commencent à être bien connues ; leurs dimensions sont extrêmement petites vis-à-vis de celles des molécules et des espaces intermoléculaires. Quoique, pour l'explication de la plupart des phénomènes, ceux-ci suffisent pour expliquer certains faits, en particulier les exceptions à la loi de Wiedemann et Franz sur le rapport des conductibilités électriques et thermiques, il paraît nécessaire de supposer qu'en outre il y a aussi des électrons positifs, c'est-à-dire des particules qui portent une charge électrique positive égale à la valeur absolue e de la charge des électrons négatifs, et possédant une masse très faible du même ordre de grandeur que celle de l'électron négatif. Ces électrons positifs n'ont encore été isolés par aucune expérience ; mais, outre que la connaissance des électrons négatifs rend assez probable, *a priori*, leur existence, la découverte par M. Jean Becquerel de bandes d'absorption donnant un effet Zeeman inverse de celui qui est expliqué par les électrons négatifs, effet inverse trouvé

aussi depuis par M. A. Dufour pour les bandes de la lumière émise par certains gaz, rend fort probable, suivant l'explication de M. J. Becquerel, la présence dans les molécules d'électrons positifs.

» Ces électrons sont dans un état incessant d'agitation, absolument analogue à celui des molécules d'un gaz, d'après la théorie cinétique. Les molécules (électrisées positivement pour rétablir l'égalité des deux quantités d'électricité, s'il y a plus d'électrons négatifs que de positifs) participent aussi au mouvement d'agitation des électrons; mais, comme leur masse est beaucoup plus considérable, plus de 10000 fois plus grande, et que leur force vive moyenne est la même, l'amplitude de leur mouvement reste très faible, trop faible pour que deux molécules puissent se choquer : les chocs n'ont lieu qu'entre électrons, et entre électrons et molécules. D'après un théorème connu de Boltzmann, en effet, dans un milieu où s'agitent des corps de nature et de masses diverses s'entre-choquant, la force vive moyenne de chaque espèce de corps est la même que celle des autres espèces. Cette force vive est proportionnelle à la température absolue

$$(11) \quad \frac{1}{2} mv^2 = \alpha T$$

et le coefficient de proportionnalité α est une constante universelle. La chaleur, conformément à une hypothèse déjà bien ancienne, et dont la justesse s'est de plus en plus imposée, n'est pas autre chose que la somme de ces forces vives d'agitation, et l'on peut dire que chaque particule en mouvement possède une quantité de chaleur, qui, exprimée en ergs, est égale à son énergie cinétique $\frac{1}{2} mv^2$.

» En l'absence de tout champ électrique, il passe autant d'électrons d'un même signe à travers une section quelconque du métal, dans un sens ou dans l'autre : il n'y a pas courant électrique; mais, si un champ électrique est établi dans le métal, un plus grand nombre d'électrons positifs passent dans le sens du champ qu'en sens inverse, à cause de la force électrique qui agit sur eux dans le sens du champ, et, pour la même raison, un plus grand nombre d'électrons négatifs passent en sens inverse du champ que dans son sens. Pour cette double raison, il s'établit dans le métal un courant électrique; l'électricité est ici transportée par les électrons, comme

dans les électrolytes, siège d'un courant, elle est transportée par les ions électrolytiques.

» On déduit aisément de là que l'intensité i du courant à travers une section droite s , sous l'influence d'un champ électrique d'intensité φ , est donnée par

$$(12) \quad i = \frac{e^2}{4\alpha T} (N_1 \lambda_1 u_1 + N_2 \lambda_2 u_2) \varphi s$$

et que, par conséquent, la conductibilité c du métal est donnée par

$$(13) \quad c = \frac{e^2}{4\alpha T} (N_1 \lambda_1 u_1 + N_2 \lambda_2 u_2),$$

N_1 et N_2 représentant les nombres d'électrons positifs et négatifs par unité de volume, λ_1 et λ_2 leurs libres parcours moyens entre deux chocs consécutifs, u_1 et u_2 leurs vitesses moyennes d'agitation, e , α , T les grandeurs indiquées ci-dessus.

» Pour la plupart des métaux purs, on sait que c varie en raison inverse de la température absolue T ; il faut en conclure que pour ceux-ci $N_1 \lambda_1 u_1$ et $N_2 \lambda_2 u_2$ sont indépendants de la température; mais pour d'autres métaux, pour les alliages en particulier, c n'est pas en raison inverse de T , ce qui montre que la parenthèse dans l'expression (13) n'est pas indépendante de la température. Nous verrons dans un instant l'importance de cette remarque.

» Si, en l'absence d'un champ électrique, la température du métal n'est pas uniforme, c'est-à-dire si la force vive moyenne des électrons n'est pas la même, par suite de la tendance constante des forces vives à s'égaliser, il en résultera que celle-ci diminuera là où elle est la plus grande, et augmentera là où elle est la plus faible; autrement dit de la chaleur passera de la partie chaude à la partie froide. Ainsi s'explique la conductibilité calorifique. En partant de là, et dans le cas où les nombres N_1 et N_2 d'électrons par unité de volume sont indépendants de la température, on trouve pour la conductibilité thermique θ

$$(14) \quad \theta = \frac{1}{3} \alpha (N_1 \lambda_1 u_1 + N_2 \lambda_2 u_2).$$

D'où, pour le quotient de la conductibilité thermique par la con-

ductibilité électrique d'un même métal,

$$(15) \quad \frac{\theta}{c} = \frac{4}{3} \frac{\alpha^2}{e^2} T,$$

c'est-à-dire que ce quotient est égal à la température absolue multipliée par une quantité qui est la même pour tous les métaux. C'est précisément la loi trouvée expérimentalement par Wiedemann et Franz. Mais, d'après la façon même dont elle est établie, cette loi ne doit pas s'appliquer aux métaux pour lesquels la conductibilité électrique ne varie pas en raison inverse de la température absolue, parce que N_1 et N_2 sont alors des fonctions de la température, que l'expression de la conductibilité thermique est plus compliquée, et donne pour $\frac{\theta}{c}$ une expression moins simple. C'est bien ce qu'on a trouvé aussi par expérience : ces métaux font exception à la loi de Wiedemann et Franz. Ainsi cette loi et ses exceptions peuvent être prévues par la théorie électronique.

» Quand un champ électrique existe, le travail de la force électrique qui agit sur les électrons augmente la force vive du système, augmente par conséquent la quantité de chaleur que contient le métal; un calcul facile donne, en tenant compte des expressions indiquées plus haut pour l'intensité i du courant, et pour la conductibilité c , d'où se déduit immédiatement la résistance R , la relation

$$(16) \quad dQ = Ri^2 dt,$$

où dQ est en ergs la quantité de chaleur créée; c'est la loi de Joule.

» Arrivons maintenant à l'explication des phénomènes électromagnétiques et des phénomènes d'induction dans cette théorie.

» Vous savez que la célèbre expérience de Rowland a montré qu'un corps électrisé en mouvement crée autour de lui un champ magnétique. Pour un corps de dimension négligeable vis-à-vis de la distance r à laquelle on considère le champ, celui-ci est dirigé perpendiculairement au plan déterminé par la direction de la vitesse et par la ligne qui joint le point A où l'on considère le champ au corps mobile O, à la gauche de l'observateur qui, couché de façon que le mouvement aille de ses pieds à sa tête, regarderait le point considéré si le corps est chargé positivement, à la droite de cet observateur si le corps est chargé négativement, l'intensité du champ

magnétique étant donnée par

$$(17) \quad \mathcal{H} = \frac{ev \sin \alpha}{r^2},$$

en désignant par e la valeur absolue de la charge, par v la vitesse et par α l'angle de la direction de la vitesse avec la direction de la ligne OA.

» Les électrons en mouvement doivent donc créer un champ magnétique. Ce point du reste a été constaté pour les électrons qui constituent les rayons cathodiques par M. Josef von Geitler. Dans un métal qui n'est le siège d'aucun courant, à cause du mouvement désordonné des électrons, le champ magnétique produit par l'ensemble des électrons est nul. Il n'en est plus de même si le mouvement des électrons est partiellement régularisé par le champ électrique, c'est-à-dire si le métal est le siège d'un courant. En s'appuyant sur la valeur de l'intensité du courant (12), on déduit de ce qui précède la valeur du champ créé par un élément de courant à une distance r dans une direction α , et l'on trouve pour l'intensité de ce champ

$$(18) \quad d\mathcal{H} = \frac{i \sin \alpha dl}{r^2},$$

c'est-à-dire la relation connue, avec la direction et le sens connus aussi. Ainsi se trouve établie la première relation fondamentale de l'Électromagnétisme.

» La seconde, celle qui concerne l'action d'un champ magnétique sur un élément de courant, s'établit non moins facilement, en s'appuyant sur le principe de l'égalité de l'action et de la réaction. Si un électron en mouvement produit sur un pôle magnétique q une force $\frac{ev \sin \alpha}{r^2} q$, réciproquement ce pôle produit la même force dans la même direction, mais en sens contraire, sur l'électron en mouvement ; or, comme le pôle q donne à l'endroit où se trouve l'électron un champ magnétique $\mathcal{H} = \frac{q}{r^2}$, on voit que l'action d'un champ magnétique sur un électron en mouvement est une force exprimée par

$$(19) \quad f = ev \mathcal{H} \sin \alpha,$$

perpendiculaire au plan contenant la direction du champ et celle du

mouvement. Cette déduction est vérifiée par la déviation qu'éprouve un faisceau de rayons cathodiques, c'est-à-dire d'électrons en mouvement, par un champ magnétique. On en déduit pour l'action qu'exerce un champ magnétique sur un élément d'un courant, toujours considéré comme dû au mouvement des électrons,

$$(20) \quad df = i\mathcal{H} \sin \alpha dl,$$

avec la direction et le sens connus. C'est la deuxième relation fondamentale de l'Électromagnétisme.

» La production des courants d'induction dans le déplacement d'un circuit à travers un champ magnétique, ce phénomène inexpliqué jusqu'ici, se prévoit aussi de la façon la plus simple dans la théorie des électrons. Considérons un conducteur rectiligne placé dans un champ électrique. Si celui-ci est immobile, dans leur mouvement d'agitation les corpuscules seront soumis à des forces de la part du champ magnétique; mais, le mouvement d'agitation ayant lieu successivement en tous sens, ces forces seront successivement de tous sens aussi, et il n'en résultera aucun mouvement d'ensemble des électrons dans une direction privilégiée : il n'y aura pas courant électrique. Mais, si le conducteur se déplace dans le champ, il n'en sera plus de même. Supposons, pour plus de simplicité, que le champ soit perpendiculaire à la direction du conducteur, et que le déplacement soit perpendiculaire au plan déterminé par les deux directions précédentes; alors pour tous les électrons s'ajoutera une composante de la force électromagnétique perpendiculaire à la fois au champ et au déplacement du conducteur, c'est-à-dire dans la direction même du conducteur, de valeur $\mathcal{H}v$, en désignant par v la vitesse du conducteur. Cette composante sera dans un sens pour les électrons positifs, en sens inverse pour les électrons négatifs. Sous son influence, la quantité des électrons positifs qui dans l'unité de temps traversent une section du conducteur cessera d'être égale pour les deux sens, et il en sera de même, mais en sens inverse, pour les électrons négatifs, si la portion rectiligne considérée du conducteur fait partie d'un circuit fermé, d'où la production du courant dit d'*induction*.

» Pour trouver, dans ce cas, la valeur de la force électromotrice d'induction, supposons que le tronçon rectiligne du conducteur ne

soit pas relié au reste du circuit. Sous l'influence de la force électromagnétique développée sur les électrons par le mouvement du conducteur dans le champ magnétique, un léger changement dans la distribution des électrons des deux signes se produira : les électrons positifs deviendront un peu plus abondants d'un côté et les négatifs de l'autre. Il en résultera une différence de potentiel V aux extrémités de ce conducteur de longueur l , d'où un champ électrique $\varphi = \frac{V}{l}$ et une force électrostatique $\frac{V}{l}e$ agissant sur les électrons et contre-balançant la composante suivant la direction du conducteur de la force électromagnétique $\mathcal{K}v e$, puisqu'il y a équilibre. On a donc

$$(21) \quad \frac{V}{l}e = \mathcal{K}v e, \quad \text{d'où} \quad V = \mathcal{K}v l.$$

Mais V fait équilibre à ce qu'on appelle la force électromotrice d'induction; donc la valeur E de celle-ci est donnée par $E = V = \mathcal{K}v l$. C'est bien l'expression connue.

» C'est pour plus de simplicité dans l'explication que nous avons supposé ces conditions simples pour les angles; quels que soient les angles que font entre eux les trois directions du conducteur, du champ et du déplacement, on obtient sans difficulté l'expression générale connue de la force électromotrice d'induction.

» Les deux relations fondamentales de l'Électromagnétisme, dont on peut déduire toutes les autres par intégration, ainsi que la relation fondamentale de l'induction, sont ainsi établies *a priori* en partant de l'expérience de Rowland et du mécanisme du courant dans les conducteurs. J'ai supposé un conducteur métallique où le transport de l'électricité se fait par les électrons, mais on retrouverait, bien entendu, les mêmes relations pour les courants dans les électrolytes, où le transport de l'électricité se fait par les ions électrolytiques, la nature des particules qui portent l'électricité n'entrant pas dans le raisonnement.

» En résumé, la théorie électronique a expliqué et relié entre eux les phénomènes les plus variés : l'inertie de la matière y est expliquée comme une simple conséquence du travail qu'il faut dépenser pour créer le champ magnétique qu'engendre le mouvement des électrons qui la constituent. L'attraction universelle

résulte d'une légère différence entre les attractions des électrons de signes contraires et la répulsion des électrons de même signe; on déduit de là immédiatement les deux lois fondamentales de l'attraction universelle, celle des masses et celle de la raison inverse du carré de la distance. Les ondes lumineuses ne sont autre chose que les ondes hertziennes engendrées par la rotation des électrons qui constituent les atomes ou les molécules quand cette rotation est perturbée. Tous les phénomènes électriques se déduisent des propriétés des électrons, etc. L'électron est l'élément primordial d'électricité et l'élément primordial de matière, car il paraît bien probable que tous les atomes, tous les corps par conséquent, sont constitués uniquement par des électrons. Tout au moins ne peut-on refuser à l'électron d'intervenir, comme le ferait un corps simple, dans toutes les réactions chimiques. Sir Ramsay vient, dans une conférence à la Société royale de Londres, de l'inscrire au nombre des éléments de la Chimie, en montrant l'importance de son introduction dans toutes les réactions.

» Certainement, cette théorie électronique de la matière subira encore des perfectionnements nombreux; quelques points seront peut-être rectifiés; mais, comme rien n'est en désaccord avec elle, et qu'elle a expliqué et relié entre eux un nombre considérable de phénomènes, il est bien probable qu'elle ne disparaîtra pas de la Science. Par l'étendue du domaine qu'elle embrasse, c'est, en tout cas, la plus belle théorie scientifique qu'ait jamais conçue l'esprit humain. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Pellat pour cette très remarquable Communication, que la réunion a écoutée avec la plus grande attention et soulignée de ses applaudissements.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

SUR CERTAINES CONDITIONS DU PROBLÈME DE LA TRACTION (1).

M. J. DE TRAZ. — « Messieurs, il est très intéressant de résoudre un problème qui, quelque théorique qu'il soit, est plein d'enseignements utiles, et qui pourrait être ainsi posé :

» Quels seraient les caractères de la marche la plus normale des trains de chemin de fer, et quels efforts moteurs devraient être développés aux jantes des roues motrices pour réaliser cette marche, en supposant que l'organisme moteur se plie à tous les desiderata sans qu'on ait à faire entrer en ligne de compte le surcroît de son prix d'achat, ni les variations du rapport entre l'énergie mécanique qu'il met en jeu et l'énergie qu'il puise à l'alimentation, c'est-à-dire de son rendement ?

» Il est bien certain qu'en faisant abstraction de ces deux derniers facteurs, on laisse sciemment de côté deux importants éléments du problème pratique, qui intéresse l'exploitant d'un réseau.

» Mais comment les prendrait-on en considération sans faire des hypothèses sur le moteur employé et sans restreindre, par suite, le champ d'application des résultats de l'étude, qui ne seraient valables qu'avec un matériel de caractères donnés ? L'étude générale doit, au contraire, servir de base au choix de ce matériel.

» Je ne disconviens pas que les essais et mesures sur des trains équipés, qu'il sera toujours désirable de voir se multiplier de plus en plus, comportent des enseignements du plus réel intérêt.

» J'ai trop employé, d'autre part, les si fécondes méthodes de prédétermination de la marche des trains électriques, du genre de celles dont il vous a été fait récemment un si parfait exposé par M. Parodi, pour ne pas savoir combien on peut aller loin avec elles dans la recherche des modifications qu'il peut être avantageux d'apporter, tant à la manière d'utiliser un équipement moteur, qu'à certains caractères de cet équipement.

» Mais les prévisions, comme les essais pratiques, ne concernent

(1) Communication présentée par M. Jaubert au nom de M. de Traz, empêché.

que des applications particulières, à la traction, de l'électricité, qu'on est arrivé à y adapter si bien et de diverses manières.

» Je crois qu'il est bon d'admettre, *a priori*, que l'électricité permet de répondre absolument à toutes les conditions de la traction, afin de déterminer librement quelles sont ces conditions. Il sera temps, ensuite, de voir jusqu'à quel point ce qu'on aura ainsi admis était exact, ou plutôt de chercher, en pleine connaissance de cause, l'application de l'électricité la plus semblable à ce qui serait tout à fait normal, et cela pour les différents cas à envisager.

» En d'autres termes, en résolvant le problème théorique que j'énonçais au début, on pose, et sur son véritable terrain, le problème pratique.

» Il est souvent utile, lorsqu'une science appliquée est arrivée à un certain développement, de remonter aux principes simples sur lesquels elle est assise, et de faire l'examen des conditions mêmes d'une application dont l'expérience la montre capable. C'est par un semblable procédé qu'on a établi, tardivement, le matériel roulant actuel des chemins de fer à vapeur, construits à l'origine sur le modèle des voitures routières.

» La résolution du problème que j'indiquais en débutant ferait presque la matière d'un Livre, qui sera, je crois, le premier Volume de tout Traité de traction, et mon ambition n'est pas d'exposer cette étude aujourd'hui. Je désire seulement attirer l'attention dans cette direction, peut-être assez nouvelle, des études théoriques sur la traction, et ce n'est qu'à titre d'exemple que je vous communiquerai quelques premières feuilles des Notes que, dans cet ordre d'idées, j'ai établies avec la collaboration de notre collègue, M. Jaubert.

» Je ne résumerai d'ailleurs que des considérations relatives à des cas absolument simples, et en les simplifiant d'ailleurs encore par toutes les approximations qui ne peuvent changer le sens et l'ordre de grandeur des résultats. Je me bornerai de plus, aujourd'hui, au cas, hélas ! trop conforme à la pratique courante, où le freinage se fait sans récupération.

» Nous allons voir qu'il est facile de se faire, dans ces conditions, une idée très précise et certaine des variations de l'effort moteur qu'il serait logique de réaliser, et cela indépendamment de toute caractéristique spéciale de moteur.

» On ne peut toutefois se maintenir dans une théorie pure. Pour que l'étude conserve son intérêt, il convient de ne pas faire d'autres hypothèses, nécessairement fausses, que celles contenues dans mon énoncé. Notamment, il faut considérer qu'on transporte des voyageurs. Le souci de leur confort, seul, ou avec, dans certains cas, la résistance des attelages, pourrait être envisagé comme interdisant l'application de quelques résultats de l'étude purement technique des conditions du mouvement.

» J'ai eu l'occasion, au Congrès de Marseille, de renouveler une déclaration que je faisais ici même en avril 1907, à savoir que la valeur de l'accélération, pendant le démarrage ou le freinage, est indifférente pour le confort des voyageurs.

» J'ai eu la satisfaction de rencontrer l'approbation de l'éminent président de la cinquième Section, M. Boucherot, de MM. Legouez, Sekutowicz, et de plusieurs autres de nos collègues. Mais cet assentiment fut loin d'être unanime et le débat fut repris hors séance au cours des si agréables réunions auxquelles donnait lieu le séjour des congressistes à Marseille. Si le bruit des luttes oratoires y pouvait faire quelque effet, je connais des restaurants du vieux port qui garderaient le souvenir de discussions aussi vives qu'amicales sur cet intéressant sujet.

» Je crois utile qu'on soit fixé quant à la valeur des arguments fondés sur le confort des voyageurs et employés pour préconiser le retour vers les accélérations faibles de 0,40 m à 0,50 m par seconde par seconde, qui datent presque des débuts de l'âge de la vapeur, et pour proscrire l'adoption chez nous de certaines accélérations américaines de 1 m par seconde par seconde, et *a fortiori* leur dépassement.

» Je me suis efforcé de réunir les considérations, fort simples d'ailleurs, qui démontrent, à mon avis, qu'on est absolument libre, au point de vue que je viens de signaler, d'admettre toutes valeurs pour l'accélération, dans les limites auxquelles d'autres raisons forcent à se borner.

» Par contre, nous verrons qu'il importe aux voyageurs que les variations de l'accélération se produisent, sinon par progression ou décroissance continue, du moins par la succession de faibles à-coups assez espacés.

» De toutes les considérations qui précèdent, nous déduirons quelle devrait être la marche normale des trains, quels devraient être les efforts de traction aux divers temps comptés depuis le départ.

» Sortant alors du programme que j'exposais au début, et pour clore la communication de ces quelques notes abstraites par une conclusion parlante, nous comparerons cette idéale succession des efforts de traction à celle, peu différente d'ailleurs, et facilement perfectible, que l'équipement moteur le plus courant se trouve réaliser.

» Les données du problème de la traction sont les indications du plan et du profil des divers intervalles de stations dont la ligne se compose, les qualités relatives du matériel roulant et de la voie quant à la résistance au roulement, et la durée totale des trajets de station à station, en admettant que la vitesse commerciale et la durée des arrêts soient imposées par des considérations extérieures.

» Le problème même consiste, non pas seulement à faire le total des trajets dans le temps voulu, ce qui serait trop simple, mais à le réaliser avec le minimum de consommation d'énergie : on a peut-être trop longtemps ignoré, en traction électrique, cette face, pourtant principale, de la question.

» Nous ne l'aborderons cependant que progressivement. Nous considérerons d'abord le cas de la marche en palier et en alignement droit. Dans ces conditions, la résistance qui s'oppose au mouvement est de la forme

$$a + bv + cv^2 + dv^3.$$

» Le dernier terme, qui m'a paru exister en tunnel, est très peu important et le précédent ne joue pas un rôle considérable aux vitesses des trains de banlieue ou des métropolitains, que nous envisageons principalement.

» Le second terme est très souvent passé complètement sous silence, malgré son existence évidente. Il est en tous cas peu important, et nous remplacerons l'expression indiquée ci-dessus par une constante A . Nous négligeons ainsi des différences insuffisantes pour influencer sur les conclusions de notre argumentation qu'elles

allongeraient sans la rendre d'ailleurs plus difficile à conduire.

» Dans cette hypothèse, un train lancé à une vitesse V , et qui ne serait soumis à aucun effort moteur, ralentirait uniformément jusqu'à ce que toute l'énergie emmagasinée en lui ait été utilisée à vaincre la résistance A . Soient L le parcours en mètres ainsi effectué jusqu'à l'arrêt, T le temps total en secondes, V la vitesse maxima, à l'origine, en mètres par seconde; on peut écrire

$$\frac{1}{2} M V^2 = L A, \quad \bullet$$

ou, en prenant $M = \frac{1000}{10}$,

$$50 V^2 = L A.$$

» Comme l'accélération négative est constante, la vitesse moyenne est la moitié de la vitesse initiale. On a donc

$$L = \frac{1}{2} V T,$$

et, en éliminant V entre ces deux relations, on a

$$T = \sqrt{\frac{200}{A} L}.$$

» En posant

$$a = \frac{A}{100}, \quad T = \sqrt{\frac{2L}{a}}.$$

Si la vitesse initiale est de 15,50 m par seconde (56 km à l'heure), et la résistance au roulement 6 kg par tonne, le train parcourra, par élan, 2000 m en chiffres ronds et s'arrêtera 4 minutes et demie après avoir été abandonné sur son erre, ayant marché à une vitesse moyenne de 28 km à l'heure. Il est assez curieux de remarquer que cette vitesse moyenne n'est pas d'un ordre de grandeur très différent des vitesses actuellement réalisées par les trains de banlieue, qui parcourent entre stations des distances analogues à celle à laquelle nous sommes arrivés.

» Il est à noter que l'énergie requise, avec cette marche, serait celle-là même qu'il aurait été utile de confier au train pour sa mise en vitesse, et qui serait restituée entièrement et exclusivement pour vaincre la résistance au roulement. Elle serait égale, avec les chiffres

admis, à 12000 kgm, soit 33 watts-heure par tonne pour 2000 m ou 16,5 watts-heure par tonne-kilomètre.

» Il est certain que nous n'avons pas envisagé le problème dans son entier, vu qu'il serait impossible de réaliser une mise en vitesse instantanée. Il y a donc lieu de considérer, au début, une période de démarrage. Si nous portons horizontalement en abscisse les temps et verticalement en ordonnées les vitesses (*fig. 1*), ce qui

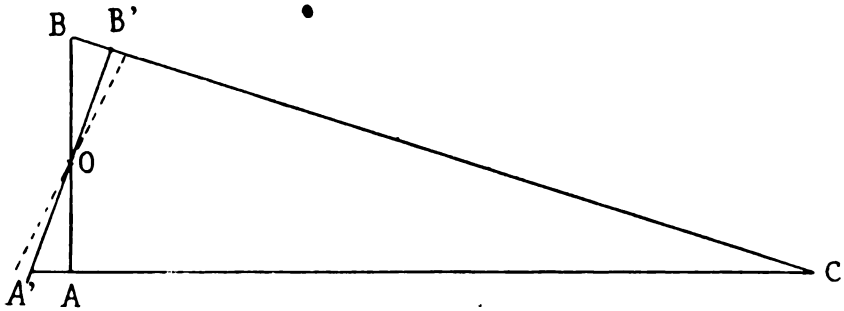


Fig. 1.

permet d'avoir la représentation des espaces parcourus par les surfaces des figures tracées, nous devons substituer à la courbe ABC une autre courbe, par exemple la courbe A'B'C', telle que la surface AOA' soit égale à la surface BOB'. La nouvelle marche que nous avons tracée correspond à la même dépense d'énergie que précédemment, puisqu'elle ne montre aucune nouvelle raison de consommation.

» L'inclinaison de BC est très faible. La pente de cette droite sur l'horizontale est, avec une échelle convenable, égale à α (0,06 dans le cas qui nous occupe), puisqu'elle représente l'accélération négative due à l'effort retardateur A appliqué à la masse d'une tonne, g étant, comme plus haut, pris égal à 10. •

» L'inclinaison de la droite A'B' sera égale, avec la même échelle, à l'accélération au démarrage γ , et le temps du parcours est augmenté de AA', qui égale sensiblement $\frac{V}{\gamma}$.

» Dans le cas qui nous occupe, et avec une accélération au démarrage de 1 m par seconde par seconde, par exemple, la durée du trajet serait augmentée de 15 secondes et demie, ce qui modifie bien peu les conclusions auxquelles nous arrivions.

» Il est cependant intéressant d'étudier exactement comment

varie le temps total du trajet avec sa longueur, dans l'hypothèse de cette marche qui ne comporte aucun freinage, et pour laquelle la course sur l'erre succède immédiatement à la mise en vitesse, mais pour laquelle nous ne supposons plus, comme tout à l'heure, la mise en vitesse instantanée.

» On trouve la formule

$$T = \sqrt{2L \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{a} \right)}.$$

» On peut alors s'en servir pour examiner l'influence de l'accélération, et l'on voit que, s'il y a avantage à avoir une plus grande accélération, cet avantage ne se chiffre que par un gain de temps presque insignifiant, dans les limites considérées, lorsque l'accélération est assez forte et la résistance au roulement assez faible.

» Cet avantage serait d'ailleurs plus grand sur les tramways, où a est plus grand, et $\frac{1}{a}$ moins important devant $\frac{1}{\gamma}$.

» L'équation ci-dessus peut d'ailleurs se mettre sous la forme

$$T^2 = KL,$$

c'est-à-dire qu'elle représente une parabole ayant l'origine pour sommet et l'axe des espaces pour axe (*fig. 2*).

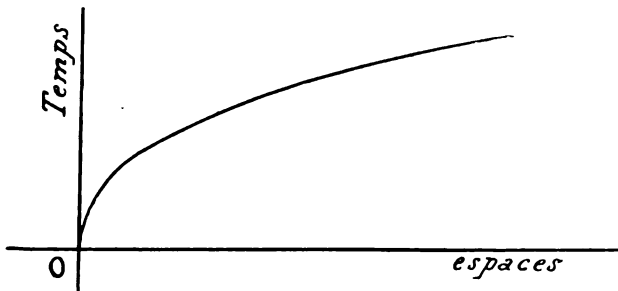


Fig. 2.

» Et la vitesse moyenne varie aussi comme la racine carrée de la distance, distance à laquelle reste toujours proportionnelle la dépense d'énergie.

» Il est facile de voir que la marche qui correspond au triangle que nous avons tracé, si l'accélération a la valeur maxima que l'on puisse lui donner, est la marche qui permettra de parcourir une

longueur L donnée dans le moindre temps, si l'on ne freine pas, c'est-à-dire si l'on ne veut pas dépasser la dépense d'énergie LA en dessous de laquelle on ne pourrait d'ailleurs descendre.

» En effet, dans le temps T ainsi employé, et représenté par la longueur AC (*fig. 3*), la surface du triangle ABC est la plus

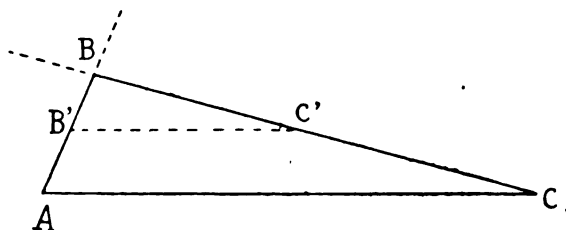


Fig. 3.

grande comprise entre les droites d'inclinaison AB et BC . Toute autre marche, telle que $A'B'C'C$, circonscrirait une surface, c'est-à-dire une distance plus petite.

» On peut donc dire que, chaque fois que pour un intervalle donné le double de la vitesse moyenne ne sera pas supérieur à la vitesse maxima imposée par la prudence ou les règlements, la marche ABC sera la meilleure.

» Mais, sauf dans des cas particuliers, le rapport de la vitesse maxima imposée à la vitesse moyenne nécessaire est très inférieur à 2, et la courbe ABC ne peut plus être appliquée. Voyons ce que

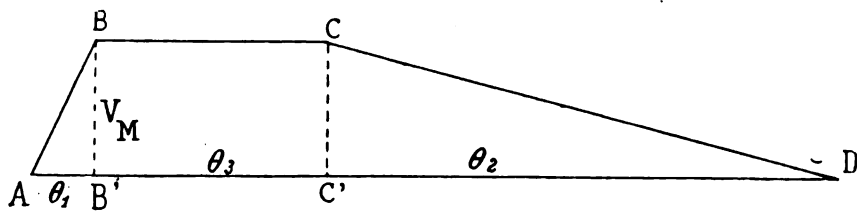


Fig. 4.

deviennent les raisonnements précédents lorsque, la vitesse maxima étant atteinte, il faut substituer au triangle précédent un quadrilatère, tel que $ABCD$ (*fig. 4*).

» On a toujours, pour un parcours donné, la même dépense d'énergie $E = LA$. Mais la vitesse moyenne est moins élevée.

» On peut obtenir aisément le temps en fonction de la distance L

et de la vitesse maxima V_M . On trouve

$$T = \frac{L}{V_M} + \frac{V_M}{2} \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{a} \right).$$

» Cette formule représente une droite. Elle n'est assurément applicable qu'à partir du temps pour lequel on a atteint la vitesse maxima, et, jusque-là la parabole précédente est à considérer. On a donc la figure 5 :

» La droite part de A vers B, et la surface OA'A correspond aux

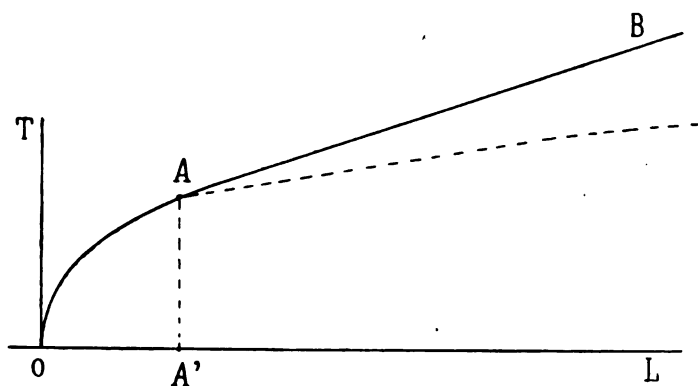


Fig. 5.

distances L pour lesquelles la marche économique conduirait à une vitesse maxima plus petite que V_M . On retombe dans le cas précédent, avec variation parabolique du temps en fonction de l'espace.

» On pourrait également construire les courbes analogues des espaces en fonction des temps. »

» Ainsi, on voit que, lorsque la course sur l'erre succède immédiatement au démarrage et se prolonge jusqu'à l'arrêt, le temps et l'espace sont liés par une formule parabolique.

» Lorsque cette marche conduit à une vitesse maxima trop élevée, on maintient la vitesse maxima possible un certain temps, et la vitesse moyenne est moins élevée pour le même espace.

» Le temps et l'espace parcouru sont liés par une formule représentant une droite à partir d'un certain point.

» Lorsqu'il ne s'agit pas de portions de lignes en alignement droit et en palier, on peut construire la courbe pour chaque inter-

valle en remplaçant A par sa valeur convenable, extraite des nombreux documents publiés à ce sujet.

» On peut alors mesurer le temps nécessaire pour parcourir une ligne avec le minimum de consommation, avec le rendement de l'horaire égal à 1, si l'on peut employer cette expression.

» Mais, généralement, la marche ainsi établie conduirait à un temps trop long. Il faut le raccourcir.

» Si l'on a déjà employé l'accélération maxima dans les limites où ses variations ont un effet sensible, et la vitesse maxima compatible avec les nécessités extérieures (il faut remarquer d'ailleurs qu'au delà d'une certaine vitesse ces formules ne s'appliqueraient plus, par suite de la non-constance de A), si l'on est arrivé à ces limites, il faut se résigner à diminuer le rendement de l'horaire et à entretenir la vitesse maxima pendant un temps supérieur à celui qui était suffisant pour la marche la plus économique envisagée jusqu'à présent. On arrêtera ensuite le train par freinage, lorsqu'il approchera de la station. C'est alors que naissent les causes de la principale dépense d'énergie dans les lignes à stations rapprochées, par gaspillage d'énergie pendant le freinage.

» La marche adoptée peut alors être représentée par ce graphique (fig. 6) :

» Le train gagne la vitesse maxima possible V par une marche à accélération constante, γ_1 , en un temps θ_1 . Puis cette vitesse est

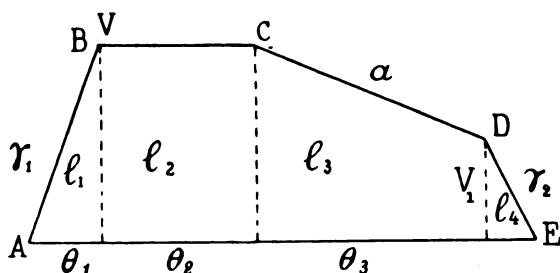


Fig. 6.

maintenue pendant un temps θ_2 , à la suite duquel on laisse le train courir sur son erre, sans dépense d'énergie. Enfin, en D, on use la vitesse restante V_1 par le freinage DE, qui amène l'arrêt.

» Le temps est donné par la longueur AE, l'espace par la surface ABCDE. L'espace étant donné, c'est l'intervalle entre deux

stations; il ne peut y avoir de formule en déduisant le temps. Celui-ci est arbitraire, et l'on peut prévoir une infinité de marches, telles que celles-ci (*fig. 7*), donnant toujours les mêmes surfaces en des temps différents.

» Mais la consommation d'énergie n'est pas la même dans chaque cas, et l'on ne peut se rendre compte que celle-ci est d'autant plus faible que le temps employé est plus grand. Lorsqu'on a laissé



Fig. 7.

le train courir davantage sur l'erre, la force vive restante, dont on gaspille presque toute l'énergie, est moins grande. On se rapproche du rendement 1.

» On peut alors se proposer de chercher la formule donnant la consommation W d'énergie, pour un parcours donné, en fonction du temps de parcours.

» Si l'on considère le train au point D, il possède en lui une éner-

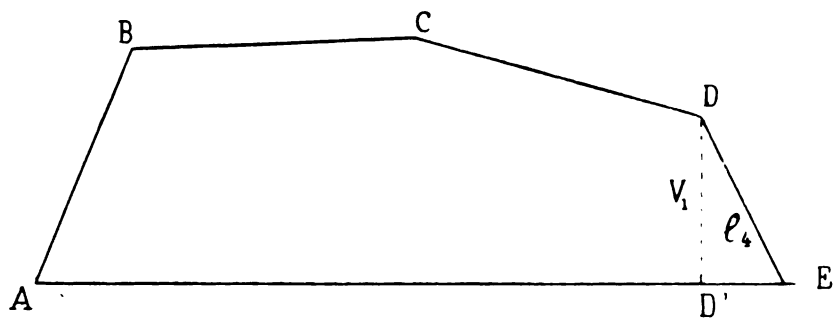


Fig. 8.

gie égale à $\frac{1}{2} MV_1^2$. Il va gaspiller cette énergie, sauf ce qui est nécessaire pour parcourir le chemin restant l_4 représenté par la surface du triangle DD'E (*fig. 8*).

» L'énergie totale absorbée par le train est donc :

» 1° L'énergie nécessaire pour parcourir l'espace L , soit LA , en appelant A l'effort de traction comme précédemment ;

» 2° L'énergie gaspillée, soit

$$\frac{1}{2} M V_1^2 - l_4 A.$$

On a

$$W = LA + \frac{1}{2} M V_1^2 - l_4 A.$$

» V_1 et l_4 font partie d'un système de 9 équations à 9 inconnues, les espaces partiels l_1, l_2, l_3, l_4 , les temps correspondants $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ et la vitesse restante V_1 au début du freinage.

» Ces neuf équations élémentaires sont :

$$l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = L,$$

$$\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 = T,$$

$$\gamma_1 \theta_1 = V,$$

$$\gamma_2 \theta_4 = V_1,$$

$$a \theta_3 = V - V_1,$$

$$\theta_1 V = 2 l_1,$$

$$2 \theta_2 V = 2 l_2,$$

$$\theta_3 (V + V_1) = 2 l_3,$$

$$\theta_4 V_1 = 2 l_4.$$

» Leur résolution est fastidieuse, mais sans difficulté. On obtient finalement cette formule

$$W = LA + \frac{1}{2} \left(M - \frac{A}{\gamma_2} \right) \left[V - \sqrt{\frac{VT - V^2 \left(\frac{1}{2\gamma_2} + \frac{1}{2\gamma_1} \right) - L}{\frac{1}{2a} - \frac{1}{2\gamma_2}}} \right]^2,$$

dont je crois intéressant de donner quelques résultats d'application.

» Soient les valeurs suivantes des données qui se rapportent à peu près au Métropolitain :

Espace	500 m
Coefficient de traction	6 kg
Masse d'une tonne : M	100
γ_1 , accélération au démarrage	0,7 m : s ²
γ_2 , — au freinage	1 m : s ²
a , — négative sur l'erre	0,06
V , vitesse maxima	12,5 m : s ou 45 km : h

» Résultats traduits en watts-heure par tonne-kilomètre (rendement 1 pour l'équipement). On a :

	Temps.	Vitesse moyenne.	
1 ^o Marche sans freinage.....	187 s	13,5 km : h	16,5 w
2 ^o Marche avec freinage.....	100 —	18 —	21
— —	70 —	25 —	31
— —	60 —	30 —	41
— —	55 —	32 —	56

» La formule donne la consommation 56 watts-heure comme consommation maxima ; c'est celle qui correspond au temps mi-

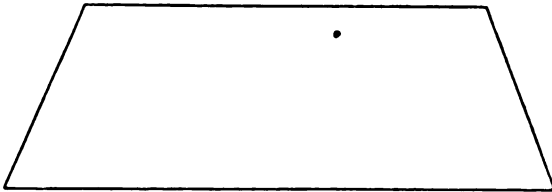


Fig. 9.

nimum qu'on puisse réaliser avec les accélérations et la vitesse maxima considérée. Elle correspond à 32 km à l'heure comme vitesse moyenne. C'est la marche sans course sur l'erre (*fig. 9*).

» Si l'on voulait aller plus vite, il faudrait augmenter les accélérations et la vitesse maxima.

» Au lieu de faire varier le temps, on peut justement choisir comme variable l'accélération, la vitesse, la distance, et cette formule donne une quantité de renseignements et de courbes intéressants.

» Mais ce serait allonger outre mesure notre sujet que d'en parler ce soir ; l'étude complète de la formule ferait presque l'objet d'une nouvelle Communication.

» On peut donc, pour chaque longueur d'intervalle entre stations, établir la courbe de la dépense minima d'énergie en fonction du temps du trajet (*fig. 10*).

» Cette courbe, si on la considérait dès l'origine, figurerait une dépense infinie pour un temps nul, puis elle décroîtrait d'une façon continue jusqu'au point correspondant à la marche sans freinage,

et elle se continuerait alors par une parallèle à l'axe des temps, la consommation restant constante.

» En réalité, la formule ne permet de considérer la courbe qu'à partir du point, bien facile à déterminer, correspondant au temps nécessaire pour faire le parcours sans course sur l'erre, en utilisant

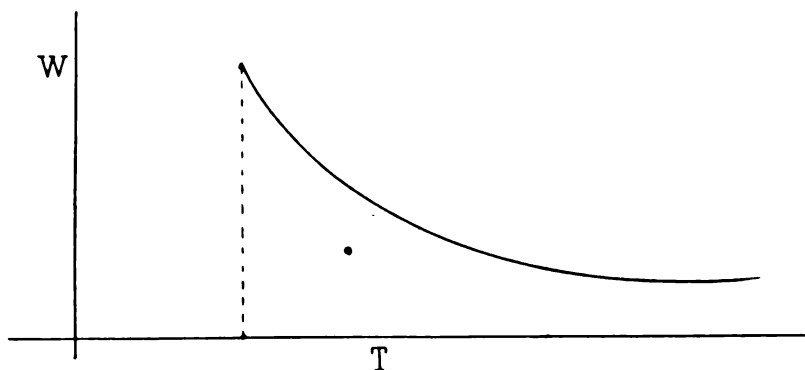


Fig. 10.

la vitesse maxima depuis la fin du démarrage jusqu'au début du freinage.

» Ces courbes, qu'on peut établir pour tous les intervalles entre stations à considérer, sont d'une utilisation très intéressante.

» Une ligne comporte en effet une série d'intervalles de différentes longueurs, qui seraient parcourus tous, sans freinage, en un temps maximum T_1 et sans course sur l'erre en un minimum T_3 . Il faut faire l'ensemble de ces trajets en un temps T_2 tel que

$$T_1 > T_2 > T_3.$$

» Comment s'y prendre ? Faut-il raccourcir chaque trajet partiel au prorata de sa longueur, ou du temps de son parcours sans freinage, ou diminuera-t-on chacun d'un temps égal ? Est-ce indifférent au point de vue de la dépense d'énergie ?

» Absolument pas, et il serait encore plus utile d'être renseigné à ce sujet si l'on considérait par exemple, comme nous l'avons indiqué plus haut, des résistances à la traction différentes suivant les divers intervalles de station.

» Or, nous pouvons tracer sur une feuille unique le faisceau des courbes dont chacune représente les variations de l'énergie en fonction du temps, pour chaque intervalle.

» Nous devons réaliser une marche totale telle que

$$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = T,$$

avec $w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n$, minimum. On y arrive en prenant, sur chaque courbe, les points pour lesquels les dérivées des fonctions $W_1, W_2, \dots, W_n$ seront égales, c'est-à-dire les points tels que les tangentes aux courbes en ces points soient parallèles (fig. 11).

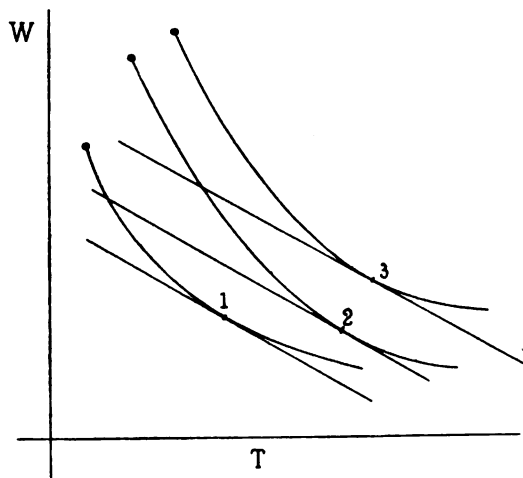


Fig. 11.

» La direction commune s'en trouve rapidement par approximations successives.

» Cette méthode peut d'ailleurs s'étendre à l'étude de l'emploi d'un matériel électrique déterminé.

» Nous avons, par ce qui précède, indiqué la résolution théorique du problème général que nous nous étions posé, et nous en rappelons la solution : la marche la plus économique doit comporter une accélération la plus forte possible, maintenue jusqu'à ce que la vitesse maxima soit atteinte ; puis une marche à vitesse constante plus ou moins longue, suivant les résultats d'application de la méthode des tangentes ; ensuite une course sur l'erre, puis un freinage à accélération négative maxima jusqu'à l'arrêt.

» Nous allons voir maintenant comment la considération du confort des voyageurs peut faire obstacle à la réalisation de cette marche idéale.

» Si l'on imprimait à un véhicule suffisamment solide pour y

résister un mouvement accéléré dont l'accélération serait de l'ordre de grandeur de quelques centaines de mètres par seconde par seconde, il est certain que le confort des voyageurs serait des plus réduits.

» Ceux qui voudraient, sans se tenir, éviter la chute en arrière, devraient s'être préparés à l'événement en prenant une position penchée en avant presque jusqu'à l'horizontalité; et le plancher de la voiture glisserait sous eux jusqu'à ce que leurs pieds rencontrent un obstacle.

» C'est alors seulement qu'ils seraient écrasés, comme tous les passagers appuyés l'auraient été dès le début. Quant à ceux qui se seraient lié les mains à des poignées de retenue, ils auraient les bras arrachés.

» On en a conclu qu'une augmentation des accélérations admises, ces temps derniers, pour les trains de métropolitain, soumettrait les voyageurs, déjà bien malmenés au départ, à un régime des plus désagréables.

» Il y a pourtant une question de mesure, qui influe considérablement sur la question; et il est facile de voir si les terribles effets que nous venons d'envisager peuvent avoir un rapport quelconque avec les phénomènes contenus dans les limites qui nous sont imposées.

» Si nous laissons de côté, en effet, la traction tangentielle, l'emploi des poids lanceurs et des pentes de démarrage, la traction par câbles et moteurs fixes, si nous nous bornons enfin à envisager le mode de traction par adhérence, seul répandu, nous pouvons déduire, de cette adhérence même, le maximum de l'accélération réalisable.

» Le coefficient d'adhérence varie, mais il ne varie guère, d'après les meilleurs auteurs, que de 0,14 à 0,20. Cela veut dire que, par tonne de poids supportée par les essieux moteurs d'un train, il ne pourra être exercé d'efforts de traction supérieurs à 140 kg ou 200 kg.

» Prenons le dernier chiffre.

» Négligeons les résistances diverses qui s'opposent à l'avancement du train et admettons que ces 200 kg par tonne de poids adhérent puissent être entièrement utilisés pour l'accélération. Suppo-

sons même que tous les essieux soient moteurs, tout le poids adhérent; nous avons donc 200 kg d'effort par tonne de train. La formule

$$F = M\gamma$$

nous donne

$$200 = \frac{1000}{g} \gamma.$$

Soit $\gamma = 0,2 g$ ou moins de 2 m par seconde par seconde.

» Il va nous être facile de démontrer qu'avec cette accélération impossible à dépasser, voire même à atteindre, le confort du voyageur n'entre pas en jeu.

» Nous considérerons d'abord la situation du voyageur debout, séparé des poignées ou barres de retenue par d'autres voyageurs contre lesquels il ne doit pas être forcé de s'appuyer.

» Supposons d'abord le plancher immobile. Ce voyageur est soumis seulement à l'effet de la pesanteur, qui s'exerce sur tous les éléments de son corps, et dont la résultante, égale à son poids, est verticale et passe à l'intérieur de son polygone de sustentation.

» Supposons maintenant que le plancher soit animé d'un mouvement uniforme. Quelle que soit la vitesse de ce mouvement, notre personnage, entraîné à la même vitesse, sera soumis exactement au même effet que précédemment si l'on suppose que l'air qui l'entoure participe aussi au mouvement, et si l'on fait abstraction des trépidations, lacets et cahots qui tiennent au matériel roulant et à la voie. Il est donc certain qu'avec des matériels appropriés, la valeur de la vitesse constante est indifférente aux voyageurs.

» Prenons maintenant le cas où le mouvement du plancher de la voiture est accéléré; soit γ l'accélération. L'inertie du voyageur s'oppose à la variation de mouvement que le plancher tend à lui communiquer, et il peut être considéré comme soumis à une force égale et opposée à celle qui lui communiquerait l'accélération γ s'il était libre dans l'espace. Cette force, qu'on peut appliquer à son centre de gravité, est égale à

$$\frac{P}{g} \gamma = F.$$

» Le voyageur est donc soumis à deux forces P et F , dont la résultante est inclinée en arrière du mouvement. Si donc il n'a pas

pris une inclinaison telle que cette résultante coupe le plancher à l'intérieur de son polygone de sustentation, il tombera en arrière. Mais, s'il a pris l'inclinaison voulue, il sera parfaitement en équilibre.

» Voyons donc si, dans les limites que nous avons considérées, cette inclinaison correspond à une position pratique. Il suffit, pour cela, de comparer à ce voyageur un homme se tenant verticalement sur un plan incliné. Comme l'inclinaison du voyageur est caractérisée par le rapport des forces qui agissent sur lui, on voit aisément que le plan incliné correspondant à la même position présentera une pente égale à $\frac{\gamma}{g}$.

» Il n'est une gêne pour personne de se tenir debout sur un chemin présentant une pente de 20 pour 100, soit de $\frac{2}{10}$. En faisant $\frac{\gamma}{g} = \frac{2}{10}$ sensiblement, on a

$$\gamma = 2.$$

» Il est donc démontré que la position du voyageur est acceptable, chaque fois que ce voyageur peut prendre cette inclinaison sans gêner ses voisins, c'est-à-dire chaque fois que les voyageurs ne sont pas trop entassés. Il y a là une relation entre l'accélération et la surcharge dans les trains, qu'il peut paraître curieux de signaler.

» Il est bien évident d'ailleurs, étant donnée l'inclinaison, que le voyageur ne glissera pas, puisque les roues du train, mises dans les mêmes conditions et avec un coefficient de frottement plus faible, ne patinent pas.

» Quel est l'effort auquel son corps sera soumis ? Il est représenté par la force Φ résultante du poids P et de la force F . On trouve

$$\Phi = P \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{g^2}}.$$

» Le radical atteint, pour $\frac{\gamma}{g} = 0,2$, la valeur 1,02. Le poids est augmenté de 2 pour 100, ce qui est insignifiant.

» Dans le cas du voyageur debout, vertical, et se tenant d'une main, le bras supportera l'effet de l'accélération. Admettons, ce qui est excessif, puisque le voyageur tient au plancher par adhérence, que toute la force $F = \frac{P}{g} \gamma$ passe par le bras.

» Si l'accélération atteint $1,96$ m par seconde par seconde, soit $\frac{1}{5}$ de g , l'effort à supporter sera égal au $\frac{1}{5}$ du poids du voyageur. Un très grand nombre de personnes peuvent rester quelques instants suspendus par un seul bras. Presque tous se suspendent facilement par les deux, faisant ainsi porter la moitié de leur poids à chaque bras. Il n'est donc pas excessif de demander momentanément un effort du cinquième seulement.

» Quant aux voyageurs assis ou appuyés, il est évident qu'ils se trouvent, à tous égards, dans de bien meilleures conditions que les voyageurs debout.

» Pourtant, le voyageur qui prend le Métropolitain à Saint-Lazare, est soumis, pendant le démarrage, et surtout au début, à des secousses fort désagréables, qu'il ne ressentait nullement en venant vers Paris dans un de ces antiques trains de banlieue qui atteignent leur vitesse de marche en même temps que la station où ils doivent stopper.

» La valeur même de l'accélération n'y est pour rien, nous l'avons vu. Qu'est-ce donc qui produit ces déplacements brusques de tous nos viscères, ces collisions avec nos voisins ?

» Ce sont les variations de l'accélération.

» Un viscère soumis à un effort constant a pris l'appui qu'il fallait sur l'élasticité des organes voisins. Mais un viscère, soumis brusquement à un effort double de celui qui le sollicitait, change de position, déterminant subitement une compression plus importante de ce qui le maintient. Et si, par malheur, le voyageur debout a laissé la résultante des forces F et P , dont nous avons parlé, s'aventurer trop près du bord de son polygone de sustentation, il perdra l'équilibre au moment de la variation brusque de F .

» L'accélération n'est donc pas limitée par le confort des voyageurs, mais les sautes importantes d'accélération devraient être proscrites.

» En rapprochant l'indication que vient de nous fournir l'examen du confort des voyageurs des conclusions de l'étude de la marche économique, nous pouvons tracer la courbe des efforts moteurs et résistants qu'il faudrait appliquer au train pour la réalisation de la marche tout à fait normale (*fig. 12*).

» L'effort devrait croître au départ jusqu'à son maximum, auquel

il se maintiendrait jusqu'à ce que la vitesse approche de la vitesse maxima, qu'elle atteindrait ensuite pendant une décroissance régu-

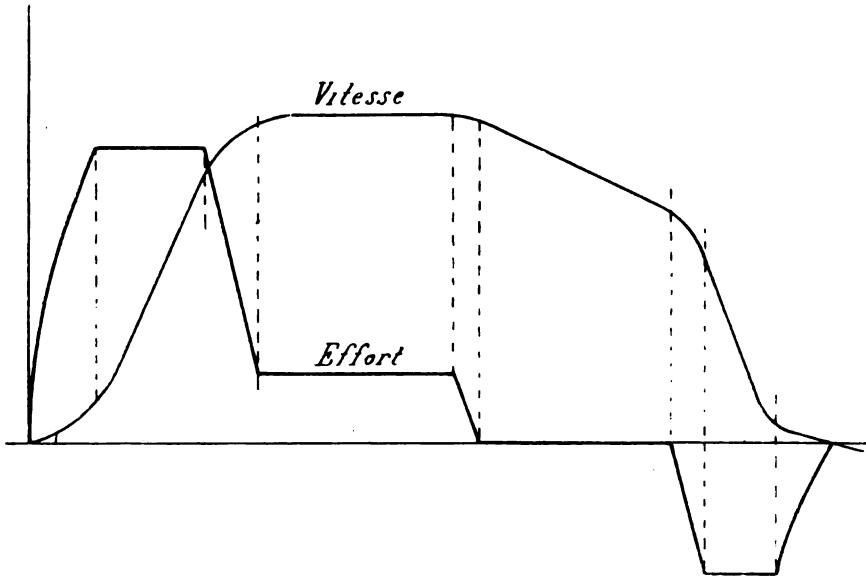


Fig. 12.

lière de l'effort moteur; celui-ci diminuerait jusqu'à la valeur égale à celle de la résistance au roulement. Puis il décroîtrait encore pour s'annuler pendant la course sur l'erre, et ainsi de suite.

» La dernière partie de la courbe est tout à fait conforme à la

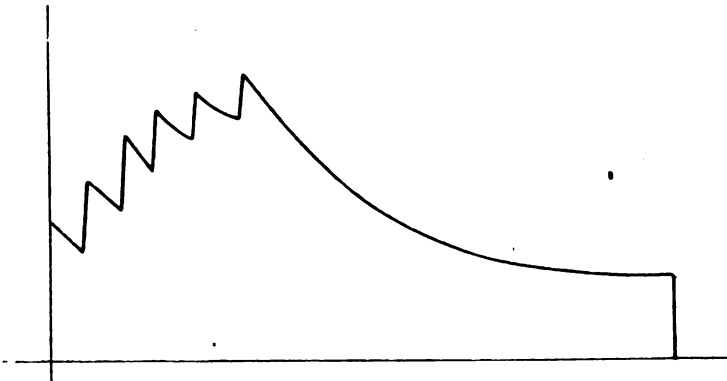


Fig. 13.

réalité. Quant à la première, elle était dans les tramways, jusqu'à ces temps derniers, celle de la figure 13 :

» Et, dans les métropolitains, elle est actuellement celle de la figure 14.

» On voit que si les tramways profitent insuffisamment de l'accélération qu'ils pourraient réaliser, par mauvais établissement de l'équipement ou par nonchalance du conducteur, ils sont parfaite-

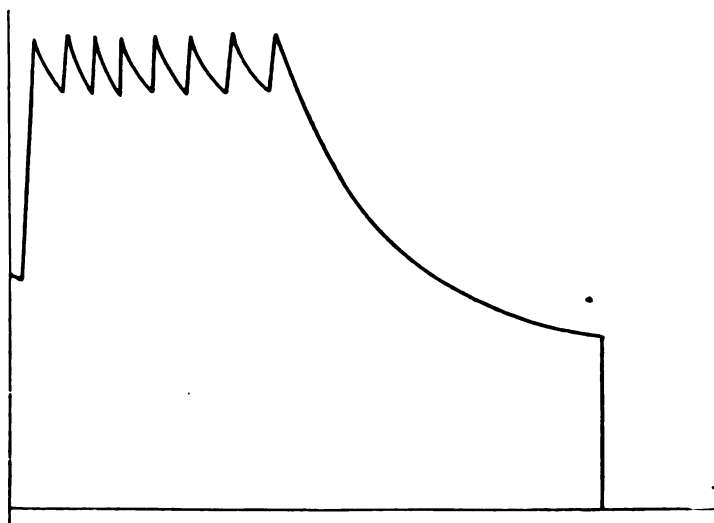


Fig. 14.

ment appropriés au confort des voyageurs, dont les fournisseurs du Métropolitain pourraient *a priori* paraître ne pas s'être inquiétés.

» C'est qu'il y a deux périodes à considérer dans la durée des manœuvres du rhéostat de démarrage : les premières manœuvres devraient élever chacune l'effort accélérateur au-dessus de la valeur qu'il avait au début du cran précédent; les manœuvres suivantes n'ont pour effet que de rattraper les chutes d'intensité qui se produisent à mesure que la vitesse augmente.

» L'expérience montre que, au Métropolitain, pendant la seconde période, les à-coups sont pratiquement insensibles, et il semble même qu'il y ait encore de la marge. Mais la première période n'existe qu'à peine.

» Ceci tient à ce qu'on atteint l'accélération maxima en utilisant très peu des crans dont on dispose. Ce fut un inconvénient de l'automatisme des démarrages, si avantageuse pour la deuxième période, de limiter ce nombre de crans de la première qui, avec la manœuvre

à main, s'étendait beaucoup plus loin, beaucoup trop loin même, au détriment de la seconde.

» L'automatisme individuelle, sur les trains à plusieurs motrices, a, il est vrai, le grand intérêt de multiplier le nombre total des crans par le fait du non-synchronisme des manœuvres; mais cet avantage ne se fait pas sentir au début du démarrage, alors qu'il serait surtout intéressant.

» La raison de cet état de choses est simple. Le régulateur automatique, qui se lève dès qu'il est traversé par un courant d'intensité supérieure à celle pour laquelle il est réglé, ne permet à l'équipement de passer au cran suivant que lorsque, le train ayant pris de la vitesse, l'intensité est revenue à cette valeur.

» Pour qu'on s'arrête un instant sur le premier cran, il faut qu'il corresponde à une intensité suffisante pour faire lever le régulateur. Mais alors il faut que le train démarre avec cette intensité, sans cela on resterait indéfiniment sur ce premier cran, le train ne démarrant pas.

» Si l'on tient compte de la nécessité de démarrer en rampe, même au cas où un des équipements du train ferait défaut, et des variations de tension qui se rencontrent sur les lignes, on voit que le premier cran doit correspondre à un effort peu différent de celui correspondant au suivant. D'ailleurs, le régulateur n'a qu'un réglage, et il ne peut fonctionner utilement que si l'intensité de ce réglage est atteinte. Le premier cran est donc, déjà, en deuxième période.

» On a amélioré les choses en plaçant une ou deux touches en dessous de l'action du régulateur, mais leur effet est peu sensible, car l'équipement automatique ne s'y arrête pas.

» J'ai cru, Messieurs, que les diverses observations que je viens d'avoir l'honneur de vous présenter pouvaient offrir quelque intérêt, surtout quant à la manière d'envisager les études de traction électrique, qui sont trop longtemps restées soumises aux seules méthodes d'examen fondées sur l'empirisme. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Jaubert de cette très intéressante Communication.

**DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. BOURDEL SUR LA TRACTION
PAR COURANT CONTINU A INTENSITÉ CONSTANTE.**

M. LEGOUÉZ. — « Nous avons eu le plaisir d'entendre de fréquentes et très intéressantes Communications relatives à la traction électrique. L'exposé si complet de notre Secrétaire général, M. de Valbreuze, en 1907, a été comme une préface à l'étude de cette importante et presque inépuisable question, qui préoccupe un si grand nombre de membres de notre Société, à des titres divers, qu'ils soient inventeurs, constructeurs ou exploitants.

» J'espère que nous en reprendrons successivement les divers Chapitres, et, surtout, je souhaite que les divers systèmes appliqués et préconisés soient exposés ici, où une discussion impartiale permettra d'en faire ressortir les avantages et les inconvénients et, par suite, de fixer les conditions optima de leur application.

» En effet, toutes les questions relatives à la traction électrique ne sont généralement plus que des questions pratiques. La théorie en est aujourd'hui bien connue, et M. Parodi, dans une récente séance, nous a, avec un esprit synthétique bien français et une profonde culture scientifique, montré comment on étudiait l'équipement électrique d'une ligne. J'ai eu d'autant plus de plaisir à l'entendre, que sa Communication était comme l'antithèse, la réponse directe à une série de conférences auxquelles M. de Traz a bien voulu faire allusion et où l'un des ingénieurs américains les plus éminents a exposé les méthodes empiriques et pratiques employées dans le même but au delà de l'Océan. Par communauté de culture et d'origine, je me sens porté à applaudir aux méthodes beaucoup plus scientifiques que nous a développées M. Parodi; et, cependant, je ne puis me dissimuler que les Américains, avec leurs méthodes beaucoup plus modestes, plus école primaire, si j'ose m'exprimer ainsi, vont beaucoup plus vite que nous, et que nous nous essoufflons à les suivre. Peut-être, me répondra-t-on, n'est-ce ni la science de nos électriciens, ni l'habileté de nos ingénieurs, ni l'expérience de nos constructeurs qu'il faut en accuser, mais uniquement la pru-

dence de nos hommes d'affaires et la craintive inertie de nos administrations qui ne ressemblent en rien à la hardiesse, disons le mot, à la témérité des Américains. Si cette opinion est fondée, vous y verrez avec moi une raison de plus pour que notre Société prenne en mains ces questions, les étudie et les fasse mieux comprendre.

» Il est certain, et aucun d'entre vous ne me contredira, que nos discussions seront si lumineuses, que les intéressés n'auront qu'à les consulter pour découvrir entre les divers systèmes celui qui convient à leurs besoins. C'est à ce point de vue que je voudrais examiner l'intéressante Communication de M. Bourdel à notre dernière séance; je voudrais essayer de faire ressortir, non plus les avantages qu'il nous a brillamment exposés, mais les points faibles, de façon à bien délimiter les cas où son application sera justifiée.

» Je ne m'arrêterai pas à critiquer les dispositions si ingénieuses imaginées pour les interrupteurs de section; je suis convaincu que leur complication existe seulement dans notre esprit lent à en concevoir le fonctionnement, et je me souviens trop d'avoir été un des premiers à lutter auprès des Compagnies exploitantes pour l'application des systèmes à unités multiples en France. M. de Traz, qui avait la charge de les défendre, sait aussi bien que moi que les praticiens les plus éminents nous considéraient alors avec une certaine ironie quand nous essayions de leur démontrer que les complications et les difficultés n'existaient que sur le papier, mais que, pour qui ne perdait pas son temps à essayer de comprendre, mais se contentait de se servir de l'instrument, que d'autres avaient peiné pour mettre au point, rien n'était plus simple et plus pratique, et surtout plus souple.

» Mais il y a un autre point qui m'inquiète dans le système à intensité constante, c'est la multiplicité des lignes aériennes de contact. C'est qu'ici il ne s'agit pas d'une complication apparente; rien n'est plus facile que de tracer deux ou trois lignes parallèles sur le papier, mais, au contraire, d'une difficulté pratique, difficulté d'isolement des lignes aériennes les unes par rapport aux autres, difficulté pour les appareils de prise de courant. Ce qui est plus grave encore, ces difficultés correspondent à des frais de premier établissement qui deviennent vite prohibitifs. Aussi est-ce à ce point de vue que je désirerais des renseignements complémentaires.

Il ne faut pas se dissimuler que dès qu'il ne s'agit plus de lignes à trafic intensif, comme les chemins de fer urbains ou suburbains, les frais d'établissement des lignes jouent un rôle de plus en plus important. Dans un récent voyage à l'étranger, j'ai été très frappé par les arguments que des ingénieurs suisses ou suédois développaient contre la suspension catenaire si à la mode, mais si coûteuse, et des motifs qui leur faisaient préférer des dispositifs plus simples et, par suite, plus abordables au point de vue des frais d'installation. Ce qui est vrai pour la traction monophasée doit l'être encore bien plus pour le système de M. Bourdel, et je le prierai de nous renseigner sur la manière dont il conçoit l'installation de ces lignes et sur leurs frais d'installation comparés à ceux d'une ligne à traction monophasée ou continue.

» La phrase modeste où il se contente de nous dire que « l'établissement de deux conducteurs isolés aériens n'est d'ailleurs pas compliqué et existe aujourd'hui couramment pour les lignes sous courant triphasé » est loin de me rassurer. Elle prouve seulement, ce dont nous nous doutions bien, que la question peut être résolue au point de vue de la construction, mais elle ne nous éclaire en rien sur les frais de premier établissement et d'entretien.

» Le second point délicat concerne les moteurs. Tous les constructeurs seront d'accord pour reconnaître combien il est difficile d'établir un moteur à axe vertical. Combien ces difficultés vont-elles être augmentées quand il s'agira d'installer de pareils moteurs sur le plancher suspendu et mobile d'une voiture et, par surcroît, de l'isoler? Le système, dont M. Bourdel nous a montré un projet, a-t-il été exécuté et que deviendrait-il pour des moteurs de 400 ou 500 chevaux, comme on doit en installer sur les locomotives électriques qui vont être essayées précisément sur la section de ligne de la Compagnie des Chemins de fer du Midi dont il nous a entretenus.

» Ce n'est pas sans quelque appréhension que j'ai constaté également que les moteurs, contrairement à l'équipement soigneusement mis à la terre, étaient isolés et enfermés dans une cabine inaccessible pendant la marche. Tous ceux qui ont examiné de près des locomotives, où il était fait emploi d'une haute tension, pour la traction monophasée par exemple, savent que non seulement on enferme les appareils dangereux et l'on munit les portes de dispositifs de sé-

curité qui coupent le courant à l'ouverture de la porte, mais aussi on a grand soin de mettre tous les appareils à la terre. N'y a-t-il pas un danger grave à isoler de pareilles masses dans une voiture forcément métallique, et la sécurité sera-t-elle bien assurée ? Des explications complémentaires me paraissent s'imposer.

» Enfin, que M. Bourdel me permette une dernière critique au sujet de l'étude qu'il a faite sur un tronçon de ligne des Chemins de fer du Midi. Je n'ai pu, faute d'éléments suffisants, refaire les calculs ; mais la simplification du profil en long, qui consiste à remplacer une rampe de 33 mm par mètre sur 7,700 km par une rampe de 26,7 mm, me paraît un peu hardie. Si l'on tient compte, en outre, de ce que l'emploi de la traction électrique sur cette partie du réseau a surtout pour objet l'accélération de la marche des trains à la montée, on conçoit qu'il sera nécessaire d'employer des machines très puissantes, et la récupération ne donnera certainement pas les résultats brillants qui ressortent des calculs, si, au lieu de monter la rampe à la vitesse de 24 km à l'heure pour les express, on la monte à 50 km, c'est-à-dire presque à la vitesse que la sécurité interdit de dépasser à la descente. Tout ceci n'est pas une simple supposition ; la Compagnie des Chemins de fer du Midi a commandé des locomotives d'essai en traction monophasée de 1200 à 1500 chevaux, avec un programme identique dans ses grandes lignes à celui que je viens d'esquisser. Que deviendraient les résultats favorables annoncés par M. Bourdel, si l'on appliquait ce programme avec le système à intensité constante ?

» Encore n'ai-je considéré que la fraction de ligne à profil très dur donnée par M. Bourdel. Mais, en fait, la Compagnie des Chemins de fer du Midi ne pouvait changer son mode de traction deux fois à 50 km d'intervalle, et elle a prévu la traction électrique sur un parcours beaucoup plus long, où l'on ne retrouve plus les rampes exceptionnelles si favorables à la récupération.

» Voilà précisément l'inconvénient d'avoir voulu trop prouver et d'avoir choisi, pour un système encore neuf, un des problèmes les plus difficiles qui aient été posés à l'industrie électrique. N'est-ce pas s'exposer à des critiques imméritées et risquer de déconsidérer un système si ingénieusement mis au point et qui mérite mieux sans doute que les critiques que j'ai accumulées peut-être avec excès.

» Combien il eût été préférable d'examiner les résultats qu'il pourrait donner sur une ligne plus modeste intérêt local en pays montagneux, et de rechercher s'il ne serait pas aussi avantageux, dans ce cas, que la traction monophasée qui paraît actuellement très appréciée pour ce genre d'exploitation. Je ne serais pas éloigné de penser que dans ce cadre plus restreint il ressorte à son avantage.

» Que M. Bourdel soit bien persuadé, en tout cas, que sa Communication m'a paru d'un haut d'intérêt et qu'il ne voie, dans mes critiques, aucun parti pris, mais le désir, comme je le disais en débutant, de rechercher les conditions optima pour l'usage de la distribution à intensité constante. Il a, d'ailleurs, fait ressortir d'une façon tellement évidente ses avantages incontestables, qu'il ne peut s'en prendre qu'à lui si nous ne trouvons plus à développer que les points faibles. D'ailleurs, je me suis efforcé d'éviter toute comparaison avec d'autres systèmes pouvant faire supposer que mes objections avaient pour but de m'en faire l'avocat; je laisse ce soin à d'autres plus autorisés. »

M. J. BOURDEL. — « En raison de l'heure déjà avancée et, d'autre part, du caractère documentaire des explications que veut bien me demander M. Legouez, je sollicite de vous, Messieurs, la permission de remettre ma réponse à notre prochaine réunion.

» Je suis très heureux de voir la discussion s'ouvrir sur la Communication que j'ai eu l'honneur de vous faire; cela me prouve que les dispositions nouvelles présentées vous ont intéressés; et, des opinions échangées à ce sujet, nous tirerons évidemment d'utiles enseignements pour la mise au point du système que je vous ai décrit. »

M. PERRET (¹). — « Après la très intéressante Communication de M. Bourdel, il faut reconnaître que, grâce aux dispositifs nouveaux et ingénieux imaginés par M. Potterat, la distribution à courant continu à intensité constante fournit une solution élégante de la traction électrique sur les chemins de fer.

» Si l'on fait abstraction des complications spéciales de la ligne,

(¹) Observations présentées par M. Gourdeau, au nom de M. Perret.

on ne peut manquer d'être séduit par l'apparente simplicité du système dont M. Bourdel a su exposer de façon si frappante tous les avantages.

» A la réflexion cependant, quelques objections se présentent à l'esprit. Je ne veux pas parler des difficultés de la prise de courant, car je pense que tout système nouveau prête à des critiques de détail dont la pratique seule peut être appelée à faire justice.

» Mais je me proposerai d'envisager la question sous l'aspect économique que M. Bourdel a, d'ailleurs, examiné de façon détaillée.

» Pour faire valoir à ce point de vue les avantages du système qu'il préconise, M. Bourdel se base principalement sur la facilité particulière dont on dispose pour la récupération dans les freinages et dans les pentes. Il prend comme exemple une ligne très accidentée et établit le parallèle au point de vue de la dépense d'énergie entre la distribution série avec récupération et la distribution à courant monophasé sans récupération.

» Les conditions ainsi posées sont évidemment très différentes, mais rien n'empêche actuellement de prévoir la récupération dans le deuxième cas comme dans le premier.

» Je me bornerai à indiquer, à l'appui de cette opinion, que la Compagnie des Chemins de fer du Midi a commandé récemment un certain nombre de locomotives à courant monophasé, de différents systèmes, pour lesquelles la marche en récupération est imposée.

» Dès lors, il s'agira de comparer, au point de vue économique, le système à courant constant et le système à potentiel constant, dans des conditions équivalentes.

» On pourra reconnaître ainsi que, dans les applications à la traction, le deuxième système donne un rendement moyen sensiblement supérieur à celui du premier.

» Il est déjà reconnu que la perte en ligne a, dans les distributions à intensité constante, une valeur relativement grande par rapport à la puissance moyenne employée, et d'autant plus que cette puissance moyenne est elle-même une fraction plus faible de la puissance maxima.

» Mais la principale cause de la diminution de rendement du système est imputable aux moteurs.

» M. Bourdel dit, avec juste raison, que le rendement du moteur-série reste bon aux faibles charges ; cette observation, toutefois, n'est justifiée que pour un moteur alimenté à tension constante : elle ne peut s'appliquer au cas d'un moteur à intensité constante.

» Dans ce dernier cas, en effet, la perte ohmique ne variant pas, sa valeur en pour 100 est inversement proportionnelle à la puissance employée, tandis que, dans le premier cas, elle lui est directement proportionnelle.

» Dans l'exemple d'application considéré par M. Bourdel, la puissance moyenne (positive ou négative) de la locomotive est environ la moitié de sa puissance à pleine charge. Si l'on admet que les pertes ohmiques dans le moteur soient de 7 pour 100 à pleine charge, elles s'élèveront donc, en réalité, à 14 pour 100 environ pour la puissance moyenne, tandis qu'au même régime, à potentiel constant, elles s'abaisseront à 3,50 ou 4 pour 100 environ.

» La différence de rendement en faveur de la deuxième solution atteindrait donc environ 10 pour 100.

» D'autre part, si, au lieu d'étudier une ligne de montagne à profil très accidenté, on étudie une application ordinaire, l'abaissement du rendement moyen serait encore plus accusé. Il suffit, pour s'en convaincre, de considérer que l'effort au démarrage d'une locomotive peut atteindre dix fois l'effort de traction correspondant à la marche du train en palier, et la puissance moyenne développée n'est souvent que le $\frac{1}{4}$ de la puissance de pleine charge des moteurs.

» A mon avis, pour une application courante, la différence des rendements des deux systèmes pourrait atteindre 20 pour 100.

» Il serait possible de remédier en partie à cette infériorité relative en adoptant des combinaisons spéciales telles que le couplage série-parallèle des moteurs ou le shuntage d'inducteurs, mais le système y perdrait son principal avantage, qui est sa grande simplicité de manœuvre.

» Il resterait donc, en faveur du système à intensité constante, la prétendue économie d'installation provenant de la suppression des transformateurs et des sous-stations. Or, si l'on veut établir des moteurs à haute tension, les difficultés ne sont à coup sûr pas plus grandes en courant alternatif qu'en courant continu ; et, d'autre

part, toutes conditions égales, la tension appliquée sur les moteurs serait moins élevée, en distribution à potentiel constant, sans transformateurs, qu'en distribution série. Ce fait est la conséquence de la meilleure utilisation de la ligne sous potentiel constant.

» Le moteur monophasé tout indiqué pour une telle alimentation à haute tension est le moteur à répulsion. Il se prête, d'ailleurs, au réglage de la vitesse par décalage des balais et permet la marche en récupération.

» Dans l'hypothèse de l'alimentation directe à haute tension des moteurs, l'avantage de la simplicité reviendrait donc encore au système par courant monophasé. »

M. J. BOURDEL. — « D'après les remarques de M. Perret, je constate que la discussion s'oriente nettement vers la comparaison du système continu-série avec le système monophasé, dont les applications sont actuellement nombreuses pour des lignes accidentées ; je vous demanderai encore, Messieurs, la permission de répondre à M. Perret lors de notre prochaine séance. »

M. le PRÉSIDENT remercie les orateurs.

La séance est levée à 10^h40^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

Leçons sur le carbone, la combustion, les lois chimiques, professées à la Faculté des Sciences de Paris, par H. LE CHATELIER. Dunod, Pinat et Hermann, éditeurs, Paris, 1908.

Par l'immensité de ses combinaisons minérales et surtout organiques, le carbone peut être regardé comme le corps le plus important de la Chimie, et ce n'est pas d'aujourd'hui, en effet, qu'on a appelé la chimie organique *la chimie du carbone*.

Le très savant Auteur de ces *Leçons* aime à se rappeler qu'il a été jadis l'élève de l'illustre H. Sainte-Claire Deville et rappelle, à ce propos, au début de son Cours, quelques souvenirs du Maître. Il analyse ensuite, avant d'entrer dans le vif du sujet, l'œuvre de Moissan, dont le nom restera toujours intimement lié au fluor, au four électrique et à la reproduction artificielle du diamant.

Le Volume de M. Le Chatelier reproduit, en dix-huit Leçons, le Cours qu'il professa à la Sorbonne.

Parmi ces Leçons, toutes n'intéressent pas au même degré ceux qui ne sont pas chimistes, mais il en est, d'un ordre scientifique général, qu'il serait impardonnable de ne pas citer. C'est le cas des Leçons sur les combustibles, sur la combustion des mélanges gazeux, sur la science de l'énergie d'après Sadi Carnot, sur les lois de la mécanique chimique et d'autres encore.

Tout ingénieur, quelle que soit la spécialité qu'il ait embrassée, lira avec fruit et plaisir les Chapitres où ces questions sont si clairement et si magistralement exposées.

Traité de Mathématiques générales, par E. FABRY, professeur à l'Université de Montpellier. Hermann et fils, éditeurs, Paris, 1909.

Ce Traité, pour lequel M. Darboux a écrit une préface dans laquelle il expose ce qu'est l'enseignement général dans nos Universités, en faisant valoir les sérieuses améliorations dont il a été l'objet depuis une quinzaine d'années, a été écrit spécialement pour les chimistes, physiciens, ingénieurs et les élèves des Facultés des Sciences.

Il comprend quatre Parties respectivement consacrées à l'Algèbre des Mathématiques spéciales et supérieures, à la Géométrie analytique, à l'Analyse infinitésimale et à la Mécanique rationnelle. Dans un appendice sont réunies les formules les plus usitées concernant la Trigonométrie, le calcul des surfaces et volumes, l'Algèbre, l'Analyse et le Calcul différentiel avec les principales intégrales.

Les démonstrations sont à la fois simples et rigoureuses, qualités que l'Auteur a su réunir malgré les difficultés souvent très grandes qu'il faut surmonter pour y parvenir dans un enseignement qui n'est pas destiné à de purs mathématiciens.

Les radiations des corps minéraux, recherches des mines et des sources par leurs radiations, par H. MAYER. Dunod et Pinat, éditeurs, Paris, 1909.

Ce Volume a été écrit par l'Auteur pour relater les nombreuses expériences auxquelles s'est livré un ancien marin, M. Jansé, au sujet de la baguette divinatoire, connue depuis des temps très reculés et qui, entre certaines mains, permet de déceler à coup sûr les sources, les mines et autres richesses contenues dans le sol, même à grande profondeur. Beaucoup de savants, parmi lesquels Chevreul, ont traité les chercheurs de sources de *charlatans*, refusant à leur baguette de coudrier toute aptitude à des découvertes réelles.

Le Livre de M. Mayer est très intéressant à lire et montre que l'emploi des baguettes divinatoires est plus sérieux qu'on ne le croit généralement. Mais voilà, pour obtenir des résultats, il faut être *polarisé* et doué de certaines propriétés *fluidiques*, en un mot subir des impressions que de bien rares personnes peuvent sentir.

La baguette de M. Jansé est métallique. Il exécute avec elle toute une série d'expériences minutieusement décrites, avec figures à l'appui, par M. Mayer. Bien entendu, ces expériences ne peuvent être réussies que par les rares personnes influencées par la baguette.

Quoi qu'il en soit, M. Jansé a trouvé des sources, a reconnu des filons et obtenu des résultats vraiment aussi étonnants que merveilleux.

Ceux qui ont le sens particulier nécessaire à la réussite pourront répéter ces expériences et développer leur éducation de chercheurs. Quoi d'impossible, après tout, à ce que certains possèdent, quelquefois à leur insu, un sens que la majorité n'a pas ?

Solutions développées de problèmes de Physique, par A. LOCQUIN. 2^e édition, 1^{er} fascicule. Librairie Croville-Morant, Paris, 1909.

Ce recueil, destiné à guider les débutants dans la résolution des problèmes classiques de Physique, s'adresse particulièrement aux candidats à la licence, aux élèves des grandes écoles et aux ingénieurs.

Les problèmes développés ont été choisis parmi ceux donnés aux examens de licence ès sciences depuis 1887. Leurs solutions sont accompagnées de tous les développements nécessaires à la parfaite intelligence de la marche suivie, et les calculs numériques sont toujours poussés jusqu'au bout. En outre, l'auteur s'attache constamment, et avec juste raison, à donner l'interprétation physique des résultats obtenus par le calcul mathématique.

Dans la première Partie de ce premier fascicule, on trouvera exposée très complètement la théorie des erreurs expérimentales. La deuxième Partie est réservée au développement d'une série de problèmes sur la Thermodynamique.

Recueil de problèmes avec solutions, sur l'Électricité et ses applications pratiques, par H. VIEWEGER, traduit de l'allemand par G. Capart. Dunod et Pinat, éditeurs, Paris, 1909.

L'Ouvrage de M. Vieweger a obtenu un très vif succès dans les Instituts électro-

techniques d'Allemagne, car il vient combler une lacune importante, depuis longtemps signalée dans la plupart des Traités sur l'Électricité et ses applications.

On remarque, en effet, dans ceux-ci, l'absence presque complète des problèmes et exemples aptes à faire saisir le sens exact et pratique des lois et des formules.

Le choix des problèmes et des exemples développés dans ce Recueil est des plus judicieux et l'auteur procède constamment du simple au compliqué.

Dans le premier des quatre Chapitres sont réunis les problèmes concernant l'étude de l'Électricité. Parmi ces problèmes, signalons ceux relatifs au circuit magnétique, à l'induction, à la self-induction et aux condensateurs.

Le second Chapitre s'occupe de la dynamo à courant continu et l'on y trouve, en particulier, le calcul numérique complet des diverses parties d'une telle machine.

Le Chapitre III traite des alternateurs, transformateurs et moteurs à courants alternatifs. tandis que dans le dernier Chapitre se trouvent réunis des problèmes touchant les groupes moteurs-pompes centrifuges.

M. Caprat a serré le texte de très près dans son excellente traduction qu'on ne peut que recommander.

Traité complet d'Analyse chimique appliquée aux essais industriels, par J. PORT et B. NEUMANN. Seconde édition française entièrement refondue, traduite de l'allemand par le Dr L. Gautier. Tome I, fascicule II. A. Hermann, éditeur, Paris, 1908.

Le présent fascicule s'occupe des essais et analyses chimiques concernant le gaz d'éclairage, le carbure de calcium, l'acétylène, le pétrole, les huiles de graissage, les huiles de goudron, la paraffine, la cire minérale, l'ozocérite, l'asphalte, les graisses et huiles d'origine végétale et animale, la glycérine, les bougies et les savons.

Quatre Chapitres se répartissent ces matières. On trouvera en particulier, dans ce Volume, l'exposé très complet du mode opératoire des mesures photométriques, telles qu'on les pratique dans les laboratoires des grandes villes, pour la vérification du pouvoir éclairant du gaz.

L'Auteur s'étend également sur la détermination de la viscosité spécifique des huiles aux diverses températures, ce qui permet d'apprécier complètement leur valeur au point de vue lubrifiant des organes de machines.

Signalons enfin tout le parti qu'on a pu tirer des mesures d'indices de réfraction pour juger de la pureté de certaines huiles naturelles que le commerce livre souvent mélangées avec d'autres d'un prix moins élevé.

Le rapide épuisement de la première édition de cet Ouvrage montre suffisamment qu'il est apprécié à sa juste valeur et rend de réels services.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours,
de 3 heures à 6 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

- Grammaire (la) des Électriciens enseignée aux débutants par expériences et mesures*, par E. GOSSART. Tome I : *Le courant continu*. Paris, Vuibert et Nony, 1909; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'auteur.*)
- Mécanicien-Wattman (le)*, par L.-Pierre GUÉDON et Paul LIOT. Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. in-8, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Recueil des Lois, Règlements et Cahiers des charges relatifs à l'industrie électrique*, par MM. GEOFFROY et DELORE. Édition 1909. Paris, imprimerie Levé, 1909; 1 vol. in-8, broché. (*Don des auteurs.*)
- Réglae (le) des groupes électrogènes*, par J.-L. ROUTIN. Préface de M. H. LÉAUTÉ. Paris, éditions de *La Lumière électrique*, 1908; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'auteur.*)
- Répertoire des industries Gaz et Électricité*. Édition 1909, par Maurice GERMAIN. Paris, Société générale d'impression, 1909; 1 vol. in-16, cartonné toile. (*Don de l'auteur.*)
- Traité complet d'Analyse chimique*, par J. POST et B. NEUMANN. 2^e édition française, traduite d'après la troisième édition allemande par le Dr L. GAUTIER. Tome I, 3^e fascicule. Paris, A. Hermann et fils, 1909; 1 vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Traité de Physique*, par P.-D. CHWOLSON. Ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande par E. DAVAUX. Tome II, 3^e et 4^e fascicules. Paris, A. Hermann et fils, 1907 et 1909; 2 vol. in-8, brochés. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

- Dix dissertations pour le doctorat ès sciences techniques*, offertes par l'École technique supérieure de Munich.
-

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 333. — Application du rhéographe à l'étude de divers phénomènes (M. **Abraham**), p. 334. — Nouvelles installations téléphoniques de Paris (M. **André**), p. 335. — Suite de la discussion de la Communication de M. Bourdel (M. **Bourdel**), p. 397.

BIBLIOGRAPHIE, p. 413.

OUVRAGES OFFERTS, p. 416.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 2 juin 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir et le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 416) et des demandes d'admission suivantes :

MM.

Beaufond (Jean-Marie-Louis-Constantin **de**), 4, rue Férou, à Paris. — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

⁽¹⁾ La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

Bouguié (René), 27, rue de la Muette, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise). — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

Davesne (Georges-Henri), Ingénieur, Chef de Service des Installations à la *Maison Bréguet*, 135, route de Montrouge, à Malakoff (Seine). — Présenté par MM. Brunswick et E. Bloch.

Groslier (Léon), 87 *bis*, avenue d'Orléans, à Paris. — Présenté par MM. Guilbert et Maugas.

Le Roy (Charles), Ingénieur électricien, 4, rue Théophile-Roussel, à Paris. — Présenté par MM. Armagnat et Durangel.

Martinel (Gérard-Léon), 21, rue Saint-Antoine, à Paris. — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

Planteau (Jean-Émile-Alfred), 63, rue Claude-Bernard, à Paris. — Présenté par MM. Chaumat et Cruchon.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Janssen*, *Chassevent*, *Petit-Dupont* et *Leveau*; il en exprime les regrets de la Société.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

M. ABRAHAM fait une Communication sur l'application du rhéographe à l'étude de divers phénomènes. Le texte de cette Communication sera publié dans un prochain *Bulletin*.

NOUVELLES INSTALLATIONS TÉLÉPHONIQUES DE PARIS.

APERÇU GÉNÉRAL SUR LA BATTERIE CENTRALE.

M. H.-E.-A. ANDRÉ. — « Le 16 juin 1905, dans cette même salle, M. de la Touanne, après avoir rappelé la part revenant à la France dans la série des inventions qui se termina par la découverte de Graham Bell, exposait les résultats auxquels on était alors arrivé en téléphonie partout où se trouvaient appliqués les dispositifs modernes.

» En août 1900, au Congrès international d'Électricité, nous-même avons déjà eu l'honneur d'exposer les avantages du système à batterie centrale comparé à l'ancien système téléphonique. A cette époque, cette comparaison avait une grande importance, car il fallait convaincre le public de la supériorité de la *batterie centrale*.

» Après une période de moins de 10 années, la batterie centrale est arrivée à supplanter si complètement l'ancien système, que ce dernier est quasiment tombé dans l'oubli et que, dans certains pays où le progrès va vite, comme, par exemple, aux États-Unis d'Amérique, il est devenu un objet de curiosité dont on parle comme d'une chose antique. Il en va ainsi de toutes les choses nouvelles lorsqu'elles sont réellement bonnes et avantageuses, comme c'est le cas pour la batterie centrale.

» Évidemment, la marche en avant du progrès ne se fait pas partout avec la même vitesse et la même ampleur. . . . En téléphonie, l'Europe est en retard sur l'Amérique, où le public est plus prompt à se servir des nouveaux moyens de communications et où les compagnies exploitantes mettent tout en œuvre pour améliorer le service en adoptant les perfectionnements aussitôt qu'ils paraissent.

» Néanmoins, nous pouvons citer quelques pays, tels que l'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique, la Hollande, l'Autriche-Hongrie, la Suisse, l'Italie, la Roumanie, etc., et n'oublions surtout pas la

France, où le progrès téléphonique a définitivement pris racine et où ce n'est plus à présent qu'une question d'un nombre d'années plus ou moins grand pour que la situation téléphonique devienne comparable à celle des États-Unis, où l'efficacité du service peut être illustrée par les temps moyens de la New York Telephone Company :

» 1^o La téléphoniste répond à l'appel d'un abonné et collationne cet appel : 7,5 secondes ;

» 2^o La téléphoniste établit la communication et appelle l'abonné demandé : 13,5 secondes ;

» 3^o L'abonné demandé répond à un appel : 10,5 secondes ;

» 4^o La téléphoniste rompt la communication : 3,8 secondes ;
soit, au total : 35,3 secondes...

» Étant donné que tout le monde sait ce qu'est le téléphone et quels services il rend actuellement en France, le point important est de faire entrevoir ce qu'il pourrait être s'il était comparable à celui des États-Unis d'Amérique, où ce seul pays, au 1^{er} janvier 1909, disposait déjà de 6833386 postes téléphoniques, alors que la France — y compris ses colonies — à cette même date, n'en avait que 197 200 !

» Il y a donc beaucoup à faire, et ce qui reste à faire est même tellement considérable, qu'il faudrait plusieurs conférences pour le développer. Dans certains pays de progrès, le téléphone a été décrété d'utilité publique. Des décrets de ce genre ont été rendus dans l'Amérique du Nord, dans les États d'Oklahoma, de Nebraska et de Virginia. L'État d'Oklahoma impose aux compagnies des chemins de fer l'obligation de relier leurs stations aux réseaux téléphoniques, attendu qu'il estime que le téléphone est aussi essentiel à la commodité du public que le chemin de fer lui-même.

» Le téléphone est devenu un outil pratique de premier ordre, indispensable au développement économique des peuples modernes. La preuve de cette vérité découle de l'étude des statistiques, puisqu'il suffit de constater que les pays les plus prospères sont précisément ceux où le téléphone a pris le plus d'extension.

» Il est intéressant de noter, en passant, que l'American Telephone and Telegraph C^o gère le réseau téléphonique le plus formidable du monde entier, puisqu'à lui tout seul il comprenait, au

1^{er} janvier 1909, 3215245 postes d'abonnés, plus 1150000 postes de compagnies affiliées, alors que l'Europe entière, à cette même date, n'en comprenait que 2431815...

» Une première constatation qui résulte de l'examen des statistiques est que le développement extraordinaire de la téléphonie aux États-Unis n'a pu se produire qu'à partir du moment où ce pays a adopté la batterie centrale, dont l'avantage principal est de supprimer l'éparpillement de l'énergie électrique de l'ancien système. En effet, la batterie centrale concentre toutes ces énergies partielles en une batterie unique commune à toutes les lignes du réseau, ce qui facilite énormément la constitution du réseau téléphonique et son entretien. Cette centralisation des énergies électriques transforme le bureau téléphonique moderne en une véritable usine d'énergie électrique.

» On peut se rendre compte de l'importance de cette batterie centrale unique en disant qu'au bureau de Gutenberg elle atteint, pour un multiple de 10000 abonnés, une capacité de 4000 AH, avec un débit normal de 300 à 400 ampères.

» Cette batterie centrale unique est l'âme du nouveau système, et c'est pour cette raison qu'on désigne tout le système sous le nom de *batterie centrale*.

» Le développement du téléphone, en Amérique, a également été dû en grande partie à l'adoption du système des conversations taxées en remplacement de l'ancien système forfaitaire à conversations en nombre illimité, dont seuls les gros consommateurs tirent profit au détriment des petits consommateurs. La taxe par conversation est la seule équitable et elle est, du reste, envisagée dans le programme des réformes étudiées par l'Administration française.

» Pour discuter le téléphone, il faut tout d'abord envisager le bon service et son développement, puis ensuite l'application des tarifs.

» L'expérience universelle montre que le public, surtout dans les grandes villes, demande un service irréprochable et très développé. Les tarifs forfaitaires sont condamnés partout et sont déjà en grande partie remplacés par des tarifs gradués avec, en plus, l'application de la conversion taxée.

» La France, depuis 1906, est entrée dans la voie du progrès téléphonique et toutes les mesures ont été prises pour hâter, autant

que possible, la transformation en batterie centrale tant désirée par le public parisien. Hâtons-nous de dire que, si le désastre de Gutenberg n'avait pas eu lieu, cette transformation serait aujourd'hui chose faite. On aurait donc mauvaise grâce à ne pas accorder le délai moral et matériel nécessaire pour permettre de réparer les dommages occasionnés par cet incendie.

» Dès que la batterie centrale sera généralisée, il n'y aura plus rien qui s'opposera à l'adoption des méthodes d'exploitation usitées en Amérique. Espérons être bon prophète en prédisant que d'ici quelques années (tout comme à New-York) on comptera à Paris les abonnés par centaines de mille, c'est-à-dire qu'on atteindra le développement normal de 20 abonnés par 100 habitants prédit par les ingénieurs américains.

CIRCUITS DU MULTIPLE DE GUTENBERG PROVISOIRE.

» Les figures 1, 2 et 3 se rapportent aux schémas de Gutenberg provisoire et permettent de montrer brièvement comment la batterie centrale fonctionne déjà à Paris et quels avantages directs les abonnés parisiens peuvent déjà en retirer ⁽¹⁾.

DESCRIPTION DE LA LIGNE D'ABONNÉ (*fig. 1*).

» La figure 1 montre l'ensemble d'une ligne d'abonné L reliée d'une part aux postes d'abonnés A et B, et d'autre part au côté vertical du répartiteur d'entrée C du bureau central multiple.

» Les têtes de câbles situées sur le côté vertical du répartiteur d'entrée C représentent les lignes extérieures, tandis que le côté horizontal de ce répartiteur représente les lignes intérieures L' du bureau central. C'est donc au répartiteur d'entrée C que s'effectue,

(1) Les personnes désireuses d'étudier plus en détail le fonctionnement des divers circuits et organes de la batterie centrale intégrale américaine pourront consulter les excellents livres suivants édités à New-York : *Telephony*, by Arthur Vaughan Abbott, dont le Volume n° 6 traite tout particulièrement des commutateurs multiples, et l'*American Telephone Practice*, by Kempster B. Miller, édition 1905, et le Livre belge *La Téléphonie*, par Émile PIERARD, édité à Paris, 3^e édition (1909), dont le Tome II traite des appareils et systèmes téléphoniques les plus modernes.

au moyen de fils jarrettières doubles incombustibles, le raccordement des lignes L et L'. Le but du répartiteur d'entrée est de permettre d'effectuer toutes les permutations et combinaisons voulues entre les deux espèces de ligne L et L'. Ainsi, par exemple, si un abonné

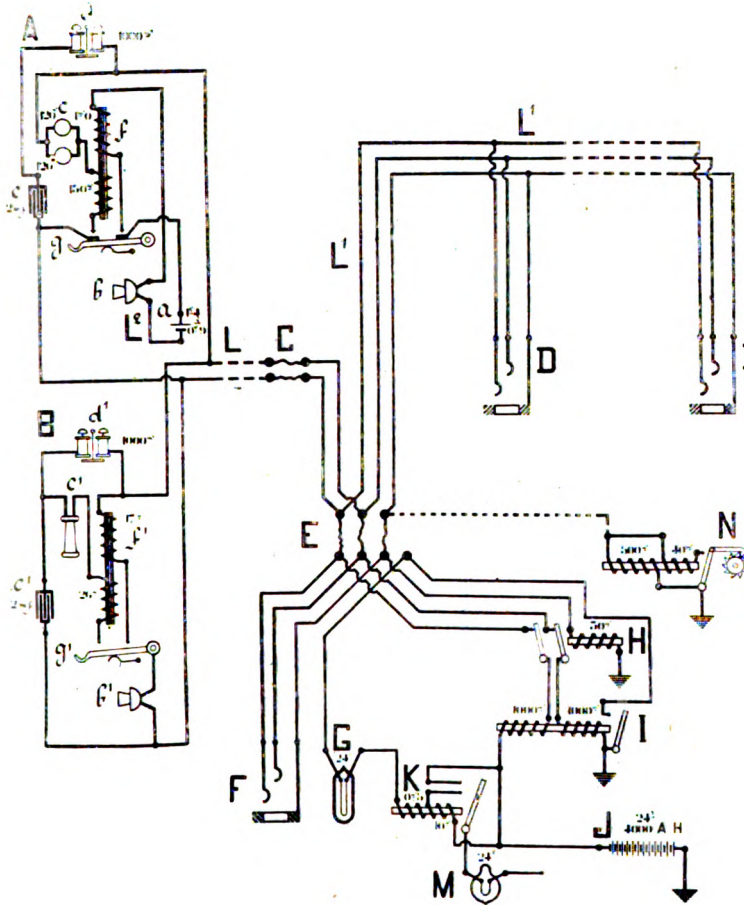


Fig. 1.

déménagement, ou que sa ligne devient impraticable, il devra être raccordé à une nouvelle ligne extérieure L. Au moyen d'un nouveau fil jarretière on relie la nouvelle ligne L à l'ancienne ligne L' pour permettre à cet abonné de conserver le même numéro dans l'annuaire des abonnés. C'est donc grâce au répartiteur d'entrée qu'on peut conserver aux abonnés leurs numéros d'abonnement immuables, chose à laquelle ils tiennent essentiellement.

» Le numéro de la ligne intérieure L' est donné par le numéro des

jacks généraux D auxquels cette ligne L' est raccordée d'une façon immuable en passant par les attaches triples du côté horizontal du répartiteur intermédiaire E dont les attaches quadruples du côté vertical sont reliées d'une part au jack local ou individuel F, à la lampe d'appel G de 24 volts, et, d'autre part, au relais de coupure H de 30 ohms et au relais d'appel I à deux enroulements de 1000 ohms. Un des enroulements de 1000 ohms du relais d'appel est relié à la terre (ou retour commun) et l'autre au pôle libre de la batterie centrale de 24 volts J.

» Il est à remarquer que les fils jarrettières ignifuges triples servant à relier entre eux le côté vertical et le côté horizontal du répartiteur intermédiaire permettent de relier la ligne intérieure immuable L' à tel groupe de jack local F, lampe d'appel G et relais H et I que l'on désire. Le but du répartiteur intermédiaire est de permettre de répartir les lignes L parmi les jacks locaux de façon à donner à chaque opératrice un travail égal. Si un des organes F, G, H et I était mis hors de service, rien ne serait plus facile (au moyen du répartiteur intermédiaire) que de raccorder, avec un nouveau fil jarretière ignifugé triple, la ligne L' à un nouveau groupe *disponible* d'organes F, G, H, I.

» L'utilité du répartiteur intermédiaire est donc : 1° de permettre le nivellement du travail en le répartissant équitablement entre les diverses opératrices de départ; 2° de donner au service d'exploitation toutes les facilités pour la distribution des lignes; 3° de parer aux déficiences qui pourraient se manifester.

» Les Américains, dans le but de faciliter le travail d'entr'aide (ce qu'ils appellent le *team work*), réservent à chaque ligne d'abonné plusieurs séries d'organes locaux supplémentaires F et G, de la figure 1, qu'ils répartissent dans les groupes de départ placés dans le voisinage de celui de ces groupes qui est normalement réservé à cet abonné. Il en résulte que, si l'opératrice de ce dernier groupe est momentanément débordée par un surcroît de travail, les opératrices voisines peuvent, en son lieu et place, répondre à l'appel de cet abonné. C'est grâce à ce service d'entr'aide admirablement bien organisé que les Américains sont arrivés à réaliser le service extraordinairement rapide qui fait leur principal succès.

» Il est à remarquer qu'un relais pilote K se trouve intercalé entre

la lampe G et le pôle libre de la batterie centrale de 24 volts J. Ce relais pilote à faible résistance est commun à un certain nombre de lampes G, mettons à cinquante de ces lampes. L'armature du relais pilote K commande une lampe pilote M située bien en vue pour faciliter le service des surveillantes. La lampe d'appel G associée directement au jack local F offre sur l'ancien système des annonceurs à volets des avantages tels que son adoption seule permet d'augmenter de 25 pour 100 environ le rendement du travail de la téléphoniste. Cette lampe G joue de plus le rôle d'indicateur destiné à signaler automatiquement et instantanément tout dérangement survenant sur la ligne, ce qui, au point de vue de l'entretien du réseau, constitue un avantage considérable sur l'ancien système où ces dérangements n'étaient connus que s'ils étaient signalés par l'abonné mis dans l'impossibilité de se servir de sa ligne ou par un service spécial chargé de l'inspection des lignes du réseau.

» Le compteur N est destiné à marquer le nombre de communications d'un abonné. Il est raccordé d'une façon permanente au troisième fil de test de la ligne intérieure immuable L'. De cette façon, si l'on change la ligne extérieure L, ou les organes locaux F, G, H, I, il n'y a pas à craindre qu'une erreur puisse se commettre dans le comptage du nombre de communications de l'abonné, puisque son compteur n'est nullement affecté par ces mutations et qu'il représente toujours l'abonné auquel il a été destiné.

POSTES D'ABONNÉS (*fig. 1*).

» Les postes d'abonnés A et B sont supposés être reliés à la même ligne L : ce serait le cas d'une ligne partagée entre deux abonnés. Le partage de la ligne entre plusieurs abonnés est très fréquent en Amérique et en d'autres pays, pour consentir des abonnements réduits à certains abonnés communiquant très peu. En France, le partage des lignes se pratiquait jadis, mais actuellement l'on ne tolère plus qu'un seul abonné par ligne. Les deux postes A et B de la figure 1 sont très différents. Le type A est actuellement celui qui, à Paris, a été provisoirement imposé dans la période transitoire entre l'ancien système et le nouveau ; il représente les postes anciens modèles *transformés* pour s'adapter à la batterie centrale d'appel et

de fin de communication. Dans le poste A la pile a du transmetteur b a été maintenue, puisque, jusqu'à nouvel ordre, on continue à se servir des anciens transmetteurs b et des anciens récepteurs c qui appartiennent aux abonnés.

» Avec le poste A l'abonné possède déjà certains avantages de la batterie centrale, tels que l'automatisme de l'appel et de la fin de communication. Il suffit, en effet, pour appeler le bureau central, de décrocher le récepteur, et, pour donner le signal de fin, de raccrocher ce récepteur. La sonnerie d'appel d de l'abonné reste en permanence avec un condensateur e en shunt sur la ligne L, de sorte que ce poste A peut être appelé du bureau central de la même façon qu'un poste américain. En décrochant son récepteur, l'abonné A fait un appel du courant de la batterie centrale J dont le circuit se ferme par le relais d'appel I, les contacts de repos du relais à rupture II, la ligne L', le répartiteur d'entrée C, la ligne L, les récepteurs c et le circuit secondaire de la bobine d'induction f . Les récepteurs c doivent être orientés dans ce circuit de façon que le courant de la batterie centrale ne tende pas à les désaimanter. Il s'agit donc, pour ce genre de montage, de prêter une attention toute spéciale à ce que les récepteurs soient montés dans le sens voulu même par les mécaniciens chargés de l'entretien de ces appareils.

» En décrochant son récepteur, l'abonné A ferme en même temps le circuit primaire de sa pile locale a . Le bon fonctionnement du transmetteur b est lié *au bon état d'entretien* de la pile a et c'est surtout à cause de cette considération que le poste A est inférieur au poste B.

» Il faudrait de plus que le voltage de la pile a fût approprié au type de microphone b dont certains modèles, pour produire leur maximum d'effet, exigent des piles de 4 à 16 volts environ alors que d'autres microphones ne demandent qu'un seul volt environ. Or, comme à Paris le nombre de modèles de microphones est très considérable (une centaine environ), il en résulte une quasi-impossibilité de traiter chaque microphone comme il conviendrait de le faire. L'Administration, par économie, ne place à chacun des postes qu'une seule pile sèche ayant (*lorsqu'elle est neuve*) 1,45 volt et 70 ampères-heures environ. Il en résulte que les microphones à faible résistance

sont favorisés au détriment des microphones à forte résistance du genre Solid Back.

» Cette circonstance est d'autant plus regrettable que le progrès semble, à certains égards, consister précisément à donner aux microphones la plus grande résistance possible, afin que ces variations de résistance, sous l'influence de la voix, puissent prendre de grandes amplitudes et augmenter proportionnellement l'énergie des ondes phoniques transmises.

» Si tous les abonnés faisaient de leurs postes téléphoniques un usage à peu près équivalent, on pourrait calculer à peu près la durée de vie des piles locales α ; malheureusement cet usage est tout ce qu'il y a de plus variable, abusif chez les uns, presque nul chez les autres.

» Il en résulte donc pour l'Administration une nouvelle difficulté, celle d'apprécier le moment où la pile α de l'abonné doit être renouvelée avant son total épuisement. On admet en général que le voltage de la pile ne peut descendre en dessous de 0,9 volt.

» Étant donné l'éparpillement de ces piles et les difficultés matérielles inhérentes à leur entretien, on peut se rendre compte de l'inextricable complexité de ce problème. Comment, dans ces conditions, peut-on arriver à traiter tous les abonnés sur un pied d'égalité parfaite? Joignez à cela les pertes possibles par l'évaporation, par le travail intérieur, etc., fût-ce même par les dégradations résultant parfois du manque de soin des abonnés ou de l'emplacement défectueux réservé par eux à ces piles.

» En résumé, les théories qui, dans un laboratoire, semblent conclure en faveur du maintien de la pile locale dans le circuit primaire du microphone tombent à néant devant les impossibilités de la pratique lorsqu'il s'agit d'assurer le bon fonctionnement d'un grand réseau téléphonique.

» Il faut, de plus, que l'économie de l'exploitation soit sagement considérée si l'on ne veut pas donner aux tarifs d'abonnement des taux abusifs ou si l'on ne veut pas aller au-devant d'un désastre financier. Une bonne moyenne de la qualité de la transmission téléphonique dans un grand réseau est de beaucoup préférable à un régime arbitraire donnant beaucoup aux uns et rien aux autres et faisant que celui qui était bien servi un jour ne l'est plus le lende-

main suivant le plus ou moins bon état d'entretien de sa pile locale.

» Le poste B est monté conformément aux derniers perfectionnements de l'art et permet de retirer de la batterie centrale tous les avantages qu'elle peut procurer à un réseau à grand trafic.

» On peut remarquer en passant que le poste B est plus simple que le poste A, puisqu'il ne comporte ni pile locale α ni ligne locale L.2, et que, de plus, son crochet commutateur g est plus simple que celui du poste A.

» Au point de vue de la protection contre les courants forts, le poste B est supérieur au poste A. Il n'y a donc aucun doute que, par la force des choses, à l'avenir tous les postes A seront remplacés par des postes B, c'est-à-dire par des postes à batterie centrale intégrale qui ont, non seulement une supériorité technique, mais qui ont, de plus, l'avantage d'être beaucoup plus économiques au point de vue de l'entretien. Ces postes B résolvent de plus le problème de la répartition équitable de l'énergie électrique entre tous les abonnés quels qu'ils soient, puisque tous sont servis par la même batterie centrale. C'est l'égalité parfaite introduite dans le régime d'une exploitation téléphonique vraiment démocratique.

RELAIS D'APPEL.

» Les avantages des deux enroulements de 1000 ohms du relais d'appel I sont les suivants :

» 1° Réduction du courant de la batterie centrale pour assurer le fonctionnement des appels ;

» 2° Réduction du courant de la batterie centrale au cas où une ligne est à la terre ou défectueuse au point de vue de l'isolement ;

» 3° Réduction de l'inconvénient du clic produit dans le récepteur de l'abonné lorsque la téléphoniste, en répondant à son appel, rompt ce circuit d'appel ; cette réduction du clic résulte du fait que le courant d'appel a une intensité très minime ;

» 4° En cas de court-circuit au delà des 2000 ohms tout danger d'incendie est écarté ;

» 5° La résistance du relais d'appel étant de beaucoup supérieure à celle de la ligne extérieure, elle tend à rendre le fonctionnement

de ce relais indépendant des variations de résistance de cette ligne extérieure ;

» 6° La grande résistance du relais d'appel I permet de lui donner le maximum de sensibilité requis pour le bon fonctionnement du réseau ;

» 7° La grande résistance du relais I permet également de réduire au minimum les courants qui pourraient provenir du contact de la ligne L avec une source de courant extérieur et de réduire ainsi les dangers de propagation du feu à l'intérieur du bureau.

CIRCUIT SIMPLIFIÉ DE DEUX ABONNÉS MIS EN COMMUNICATION (*fig. 2*).

» Le circuit simplifié de deux abonnés mis en communication par une paire de cordons d'un groupe de départ du bureau à *batterie centrale intégrale* est schématiquement représenté sur la figure 2. Les deux postes d'abonnés A et A' sont représentés avec leurs récepteurs décrochés, c'est-à-dire avec le circuit de la batterie centrale B fermé au travers des transmetteurs *a* et *a'* de ces postes et des relais de supervision *b* et *b'* qui leur correspondent au bureau central, de sorte qu'il est aisé de constater que, pendant toute la durée de la conversation des deux abonnés A et A', les deux lampes de supervision *c* et *c'* resteront éteintes, puisqu'elles sont shuntées par leurs bobines de 40 ohms tant que les relais *b* et *b'* restent excités.

» Une première constatation est que, pendant cette période de la conversation, un abonné peut toujours rappeler l'attention de l'opératrice du bureau central, puisqu'il lui suffit d'abaisser et de relever à diverses reprises le crochet commutateur *d* de son poste pour allumer et éteindre dans la même cadence la lampe de supervision qui lui correspond. Il est évident que la cadence des mouvements imprimés ainsi au crochet commutateur *d* ne doit pas être trop rapide, afin de donner au relais de supervision *c* le temps d'obéir à ces alternatives d'établissement et de rupture du courant, et afin également de ne pas donner à la lampe des éclats trop rapides. Une cadence d'environ 50 à 60 à la minute serait une bonne moyenne à observer.

» Il est donc démontré que, même pendant la durée de la conversation, l'abonné reste en relation de service constante avec son

opératrice, et réciproquement, cette dernière, par la simple consta-

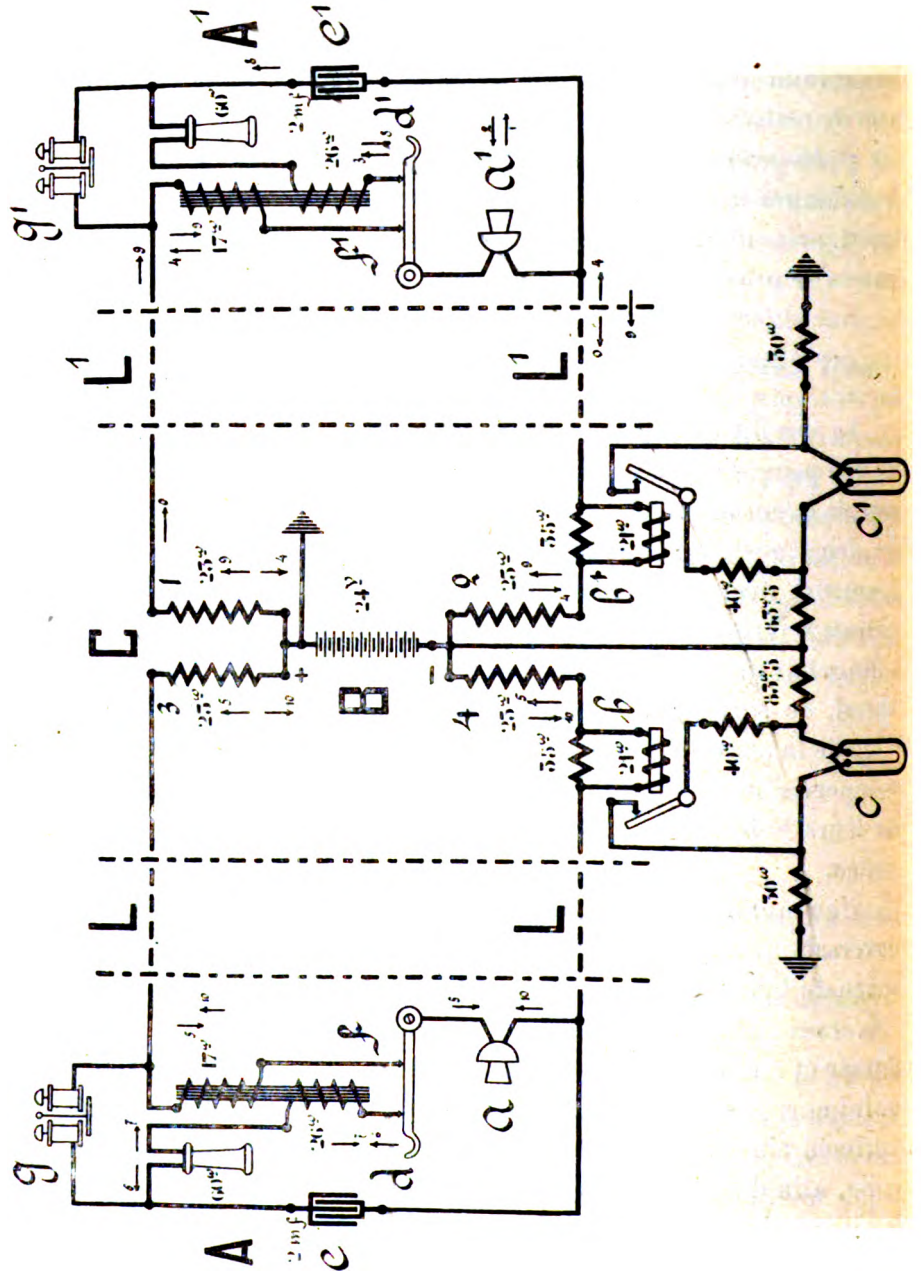


Fig. 2.

tation de l'allumage ou de l'extinction de la lampe de supervision, peut à tout instant se rendre compte si l'abonné a son récepteur décroché ou accroché, ce qui revient à dire qu'elle peut juger si

oui ou non l'abonné est présent ou non à son poste, puisqu'il est imposé que le récepteur doit être raccroché dès que l'abonné a terminé sa communication. Il est donc de toute évidence que l'allumage simultané des deux lampes c et c' signifie d'une façon certaine que la communication doit être rompue.

» L'examen de la figure 2 permet de se rendre un compte exact de la façon dont se propagent les ondes téléphoniques entre les deux postes d'abonnés A et A'. En supposant que l'abonné A' parle pendant que l'abonné A écoute, on peut envisager les trois cas suivants :

» 1° A l'état de repos du microphone, la ligne L' est parcourue par un courant continu suivant la flèche zéro ;

» 2° La membrane du microphone a' sous l'impulsion de la voix se déplace dans le sens de la flèche 1, produisant ainsi une augmentation de résistance du microphone et, par conséquent, une augmentation de la différence de potentiel aux bornes de ce microphone ;

» 3° La membrane du microphone a' , sous l'impulsion de la voix, se déplace dans le sens de la flèche 2, produisant ainsi une diminution de résistance du microphone et par conséquent une diminution de potentiel aux bornes du microphone.

» Une augmentation de potentiel aux bornes du microphone a pour effet d'augmenter dans la même proportion la charge du condensateur e' placé en shunt sur ce microphone. Le courant de charge du condensateur e' parcourt l'enroulement secondaire de 26 ohms de la bobine d'induction f' suivant la flèche 3, ce qui provoque par induction un courant suivant la flèche 4 dans le circuit primaire de 17 ohms. Ce dernier courant induit s'ajoute à l'effet produit par l'augmentation de résistance du microphone, pour diminuer l'intensité du courant qui venait suivant la flèche 0 dans la ligne extérieure L' et dans les deux enroulements de 23 ohms correspondants n° 1 et 2 du translateur C. La diminution du courant suivant la flèche zéro et le courant suivant la flèche 4 ajoutent leurs effets pour induire dans les deux enroulements 3 et 4 du translateur C un courant suivant la flèche 5. Ce dernier courant trouve un passage par l'enroulement primaire de 17 ohms de la bobine d'induction f et par le microphone a du poste A. Une très minime partie de ce courant trouve un passage suivant la

flèche 6 par le circuit secondaire de 26 ohms, par le récepteur et le condensateur e de ce poste ainsi que par la sonnerie magnétique g de 1000 ohms; mais ces circuits ont une self et une résistance beaucoup plus élevées, de sorte qu'on peut ne pas en tenir compte et négliger entièrement cette dérivation.

» Le courant suivant la flèche 5 dans l'enroulement primaire de 17 ohms de la bobine f induit un courant suivant la flèche 7 dans l'enroulement secondaire de cette bobine. Il est à remarquer que le courant dérivé suivant la flèche 6 contrarie celui du courant induit suivant la flèche 7; mais, comme il a déjà été dit, le courant dérivé 6 est tout à fait négligeable, et d'autant plus négligeable que la résistance du microphone a est plus faible au repos. Comme il sera expliqué plus loin, cette résistance au repos du microphone est d'environ 50 ohms pour le microphone Solid back, type généralement employé.

» Au poste A', le déplacement du diaphragme du microphone a' suivant la flèche 2 produit une diminution de potentiel aux bornes du microphone a' , ce qui a pour effet de diminuer dans la même proportion la charge de condensateur e' dont le courant de décharge suivant la flèche 8 induit dans le circuit primaire un courant suivant la flèche 9 qui s'ajoute à l'effet d'augmentation du courant suivant la flèche zéro dans la ligne L' et les enroulements 1 et 2 du translateur C. Il en résulte la production, dans les deux autres enroulements 3 et 4 du translateur C, d'un courant induit suivant la flèche 10, parcourant l'enroulement primaire de 17 ohms de la bobine d'induction f du poste A, ce qui induit un courant suivant la flèche 6 dans l'enroulement secondaire de 26 ohms de cette bobine. Ce courant 6 actionne le récepteur du poste A. Il est à remarquer qu'un courant inverse dérivé suivant la flèche 7 peut, dans ce cas, également être négligé.

» L'étude de la figure 2 permet d'arriver aux conclusions suivantes :

» 1^o Lors de la transmission de la parole, les effets du transmetteur et de la bobine d'induction du poste s'ajoutent pour augmenter l'influence des variations de courant dans les enroulements du translateur C. Cette circonstance est tout à fait favorable à l'emploi des postes à batterie centrale intégrale, puisqu'elle permet d'aug-

menter, dans une large mesure, l'efficacité de la transmission de ces postes, même sur des lignes très longues pouvant atteindre jusqu'à 500 ohms de résistance. Pour obtenir cet avantage, il faut que les enroulements de la bobine d'induction soient bien établis.

» 2° La présence des relais de supervision dans le circuit de conversation n'offre aucun inconvénient, à cause des shunts de 35 ohms dépourvus de self qui n'opposent aucune résistance au passage des ondes téléphoniques.

» 3° Plus les variations de résistance du microphone α du poste de l'abonné sont grandes par rapport à la résistance de la ligne, plus les variations de courant sont importantes. Ceci implique la nécessité d'avoir un microphone à très grandes variations de résistance. Le microphone Solid back, généralement usité, varie en moyenne d'environ 50 ohms en plus et d'environ 50 ohms en moins. Comme, d'un autre côté, à la réception, la résistance du microphone au repos doit être la plus faible possible afin de réduire au minimum les dérivations de courants nuisibles, il en résulte que la résistance au repos de ce microphone ne devrait pas dépasser la plus grande variation en moins produite par le déplacement de la membrane sous l'impulsion de la voix. Dans le cas du Solid back, la résistance au repos est d'environ 50 ohms. Le Solid back répond donc aux conditions les plus favorables de la transmission en batterie centrale intégrale.

» 4° Le condensateur e placé en shunt sur le microphone α du poste A joue le rôle d'une pile primaire dont les charges et décharges successives en passant par la bobine d'induction f ajoutent leurs effets à ceux produits directement et indépendamment par le microphone sur le circuit extérieur L. Le condensateur e joue le rôle d'une pile locale dont les effets sont proportionnés à sa capacité. En pratique, on a fixé cette capacité à 2 microfarads environ. Une augmentation de la capacité des condensateurs e , lorsque la ligne est très résistante, tendrait à compenser l'effet nuisible de la résistance de la ligne.

» 5° Grâce aux quatre enroulements du translateur C, au centre desquels se trouve la batterie centrale B, le courant qui alimente chacun des circuits L et L' est absolument indépendant, c'est-à-dire que la résistance d'une ligne n'influe pas sur le débit d'une autre

ligne avec laquelle elle est mise en communication par l'intermédiaire du translateur C.

» 6° Les quatre enroulements du translateur C étant équivalents, la transmission s'opère aussi bien dans un sens que dans l'autre et avec un rendement égal.

» 7° Il importe, pour que la transmission soit bonne, que les lignes extérieures L et L' soient très bien isolées. Le manque d'isolement des lignes pourrait compromettre également le fonctionnement des relais de supervision. Un isolement d'environ 100 000 ohms pour les lignes extérieures suffit amplement dans la pratique courante pour assurer un très bon fonctionnement du système.

» 8° Lorsqu'un abonné oublie de raccrocher son récepteur, c'est-à-dire lorsque son transmetteur et l'enroulement primaire de sa bobine d'induction restent placés en shunt sur la ligne extérieure, il est néanmoins possible à l'opératrice du bureau central de rappeler l'attention de cet abonné et de lui signifier qu'il doit raccrocher son récepteur. A cet effet, elle envoie sur la ligne une succession très rapide de courants, soit environ 400 à 800 pulsations à la seconde, dont l'effet est de produire dans le circuit secondaire de cette bobine f des courants induits qui agissent sur la membrane du récepteur de l'abonné et lui font produire un son très aigu suffisamment élevé pour attirer son attention et l'inciter ainsi à raccrocher son récepteur.

» 9° Les postes à batterie centrale intégrale comparés aux postes de l'ancien système sont beaucoup plus simples, plus robustes et plus faciles à installer, puisqu'il suffit de les raccorder aux deux fils de la ligne. Ces postes ne sont pas, comme dans l'ancien système, encombrés de piles primaires pour le microphone, ni de magnétos pour assurer l'appel.

» 10° Au point de vue de la protection contre les courants forts, les postes à batterie centrale offrent une sécurité beaucoup plus grande que les anciens postes. En effet, pendant toute la durée du repos de ces postes, la ligne extérieure est placée en série avec le condensateur, qui est un appareil beaucoup plus robuste que la sonnerie qui restait anciennement seule en série avec la ligne. Pendant que le récepteur est décroché au poste à batterie centrale intégrale, la ligne est shuntée par le transmetteur Solid back et le

circuit primaire de la bobine d'induction, tandis que pour les anciens postes la ligne se trouvait shuntée par le récepteur et le circuit secondaire de la bobine d'induction. Ce dernier shunt est beaucoup plus fragile, de sorte que dans les deux cas l'avantage de la protection est en faveur du poste à batterie centrale intégrale. C'est grâce à cet avantage qu'en Amérique, il a été possible de simplifier les anciens appareils de protection en supprimant les bobines thermiques. Les appareils de protection nouveaux pour les postes d'abonnés à batterie centrale intégrale ne comprennent que des fusibles et des parafoudres à charbon.

» 11° En Amérique, les protecteurs à l'entrée des lignes au bureau central comprennent des bobines thermiques, des parafoudres et des fusibles. Il est à noter que les bobines thermiques doivent être construites pour supporter sans inconvénient le passage du courant de la batterie centrale, quelle que soit la résistance extérieure de la ligne.

ENSEMBLE DES CIRCUITS D'UNE LIGNE D'ABONNÉ, D'UNE PAIRE DE CORDONS DU GROUPE DE DÉPART AVEC SON POSTE D'OPÉRATRICE, D'UNE LIGNE AUXILIAIRE RELIANT LE GROUPE DE DÉPART AU GROUPE D'ARRIVÉE, DU MONOCORDE D'UN GROUPE D'ARRIVÉE ET DU POSTE TÉLÉPHONIQUE DE L'OPÉRATRICE D'ARRIVÉE (*fig. 3*).

» La ligne de l'abonné est représentée en A à la partie supérieure de la figure 3 :

- a*, répartiteur d'entrée.
- a.1*, répartiteur intermédiaire.
- a.2*, jack local.
- a.3*, lampe d'appel.
- a.4*, relais de coupure.
- a.5*, relais d'appel.
- a.6*, jacks généraux.

» La paire de cordons du groupe de départ est représentée en B :

- b*, fiche de réponse placée en regard du jack local *a.2* dans lequel elle devra prendre contact.
- b.1*, fiche d'appel.
- b.2*, clé d'appel ordinaire côté réponse.
- b.3*, clé d'appel automatique.

- b.4, clé d'écoute.
 b.5, relais de supervision côté réponse.
 b.6, relais de supervision côté appel.

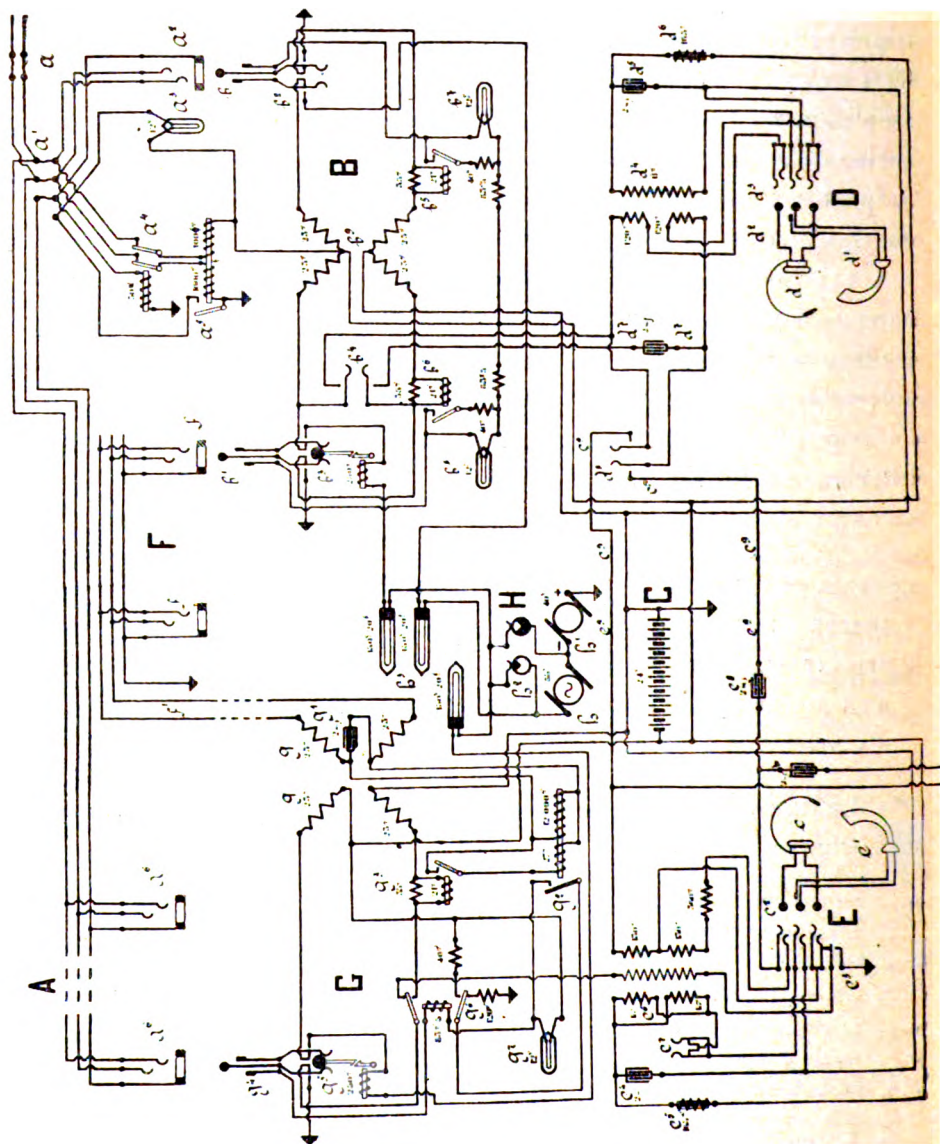


Fig. 3.

- b.7, lampe de supervision côté réponse.
 b.8, lampe de supervision côté appel.
 b.9, translateur à quatre enroulements de 23 ohms au centre duquel est reliée la batterie centrale représentée en C au bas de la figure 3.

» Le poste de l'opératrice de départ est représenté en D :

- d*, récepteur serre-tête.
- d.1*, transmetteur plastron.
- d.2*, fiche de prise de poste.
- d.3*, triple jack de prise de poste.
- d.4*, bobine d'induction.
- d.5*, condensateur de 2 microfarads placé en shunt sur le transmetteur.
- d.6*, bobine de self de 165 ohms intercalée en série sur le circuit qui relie le transmetteur *d.1* à la batterie centrale C.
- d.7*, condensateur intercalé en série sur le circuit qui relie le poste d'opératrice D à la clé d'écoute *b.4*.
- d.8*, clé de conversation de service reliant le poste D à la ligne de conversation venant du groupe d'arrivée E.

» La ligne auxiliaire de départ est représentée en F :

- f*, jacks généraux de départ.
- f.1*, ligne auxiliaire de départ à deux fils.

» Le monocorde d'arrivée est représenté en G :

- g*, translateur à quatre enroulements reliant téléphoniquement le monocorde G à la ligne auxiliaire F.
- g.1*, condensateur de 2 microfarads intercalé du côté départ entre les deux enroulements de 23 ohms du translateur *g*.
- g.2*, relais de 12000 ohms relié en permanence aux bornes du condensateur *g.1*.
- g.3*, relais de supervision, côté arrivée, destiné à commander le circuit du shunt de 27 ohms du relais de 12000 ohms *g.2*.
- g.4*, fiche de monocorde d'arrivée montrée en regard des jacks généraux *a.6*, dans lesquels cette fiche est destinée à prendre contact.
- g.5*, clé d'appel automatique.
- g.6*, relais de test.
- g.7*, lampe de fin de 12 volts.

» Le poste de l'opératrice d'arrivée est montré en E :

- e*, récepteur serre-tête.
- e.1*, transmetteur plastron.
- e.2*, fiche de prise de poste.
- e.3*, triple jack de prise de poste.
- e.4*, condensateur de 2 microfarads placé en shunt sur le circuit du transmetteur *e.1*.
- e.5*, bobine de self de 165 ohms placée en série sur le circuit qui relie le transmetteur *e.1* à la batterie centrale C.
- e.6*, bobine d'induction spéciale dite antilocale parce qu'elle empêche l'opératrice d'entendre sa propre conversation. Cette bobine a également un enroulement spécial pour le test.

- c.7*, clé permettant à l'opératrice d'interrompre le circuit d'alimentation de son transmetteur.
- c.8*, condensateur de 2 microfarads intercalé en série sur le circuit reliant le poste E à la ligne de conversation à deux fils *c.9*.
- c.9*, ligne de conversation à deux fils reliant le poste E de l'opératrice d'arrivée aux clés de conversation *d.8* des groupes de départ.

» Le dynamoteur d'appel est représenté en H :

- h*, génératrice à courants d'appel alternatifs pouvant varier de 15 à 25 périodes et de 75 à 100 volts.
- h.1*, génératrice à courant continu sous 40 volts intercalée en série entre la terre et la génératrice de courants alternatifs *h* afin d'ajouter son effet sur le fonctionnement de la clé automatique d'appel, *g.5* ou *b.3*, lorsque l'abonné demandé a décroché son récepteur.
- h.2*, commutateur réglé pour la distribution automatique des phases d'appel et de non-appel.
- h.3*, lampe de résistance de 150 volts 20 bougies et ayant environ 350 ohms de résistance, intercalée dans le circuit d'appel pour empêcher les accidents au cas où il se produirait un court-circuit dans la fiche, le cordon ou la ligne de l'abonné demandé.

FONCTIONNEMENT DES CIRCUITS D'ENSEMBLE DE LA FIGURE 3.

» Lorsque l'abonné relié à la ligne A décroche son récepteur, sa lampe d'appel *a.3* s'allume immédiatement au-dessus du jack local *a.2* dans lequel l'opératrice de départ D enfonce sa fiche de réponse *b* tout en mettant sa clé *b.4* sur réception afin de recevoir le numéro de l'abonné demandé. Dans le bureau de Gutenberg provisoire il n'a pas été possible de placer des jacks généraux d'abonnés dans les groupes de départ, de sorte que toutes les communications doivent actuellement être établies avec l'aide d'une opératrice d'arrivée E. Lorsque le multiple sera ultérieurement transféré dans son local définitif, les groupes de départ seront munis de jacks généraux, de sorte que, dans ce cas, les communications demandées pour un abonné du multiple pourront être données sur le groupe de départ même. Actuellement, l'opératrice de départ D doit toujours recourir à une opératrice d'arrivée E, à laquelle elle transmet, au moyen de sa clé de conversation *d.8*, le numéro de l'abonné demandé. L'opératrice d'arrivée E fait avec sa fiche *g.4* le test du jack général *a.6* de l'abonné demandé, y enfonce la fiche *g.4* et fait connaître, à l'opératrice de départ D, le numéro de la ligne auxi-

liaire F. L'opératrice de départ enfonce aussitôt sa fiche d'appel *b.1* dans le jack général *f* de cette ligne F; elle remet sa clé de conversation *d.8* au repos, et elle laisse à l'opératrice d'arrivée le soin d'appeler l'abonné demandé. Les clés d'appel automatiques *b.3* des groupes de départ resteront sans emploi tant que ces groupes ne seront pas munis de jacks généraux d'abonnés. L'opératrice d'arrivée E, pour appeler l'abonné demandé, n'a qu'à enfoncer le bouton de la clé d'appel automatique *g.5*. Le bouton de cette clé *g.5* se remet au repos dès que l'abonné demandé a répondu, de sorte que l'opératrice d'arrivée E en est prévenue. De même, l'opératrice de départ D est prévenue de la réponse de l'abonné demandé, parce que sa lampe de supervision *b.8* obéit au relais de supervision *b.6* qui lui-même obéit au relais de supervision *g.3* qui commande le shunt de 27 ohms du relais de 12000 ohms *g.2*. En effet, dès que ce shunt de 27 ohms est établi, la batterie centrale C peut fournir sur la ligne auxiliaire F un courant assez intense pour actionner le relais *b.6* du groupe de départ. Les deux lampes de supervision *b.7* et *b.8* permettent donc à l'opératrice de départ D de suivre la communication ainsi établie. L'allumage simultané des deux lampes *b.7* et *b.8* donne le signal de fin au groupe de départ où l'opératrice D met aussitôt les deux fiches *b* et *b.1* au repos, ce qui a pour effet de remettre le relais de 12000 ohms *g.2* au repos, et, par suite, d'allumer la lampe de fin *g.7*, ce qui donne à l'opératrice E l'ordre de remettre sa fiche *g.4* au repos et de rendre ainsi la ligne auxiliaire F disponible pour une nouvelle communication.

» La limite imposée à cette étude ne nous permet pas d'entrer dans des descriptions plus détaillées relatives à ces circuits. Les figures 1, 2 et 3 ne montrent que les circuits essentiels strictement nécessaires pour donner une idée de l'ensemble du système à batterie centrale installé à Gutenberg provisoire. Ce multiple permet à l'Administration de donner aux abonnés un service téléphonique très efficace, même supérieur à celui qui existait avant l'incendie. Les circuits relatifs aux tests de non-réponse, aux tests d'occupation, aux clés des compteurs de conversation, aux lignes de renvoi du service interurbain, aux circuits des tables de surveillantes, etc., n'ont pas été représentés sur les figures 1, 2 et 3, pour ne pas les compliquer.

» Pour décider si oui ou non, il y a intérêt à munir les groupes de départ de jacks généraux, il y a lieu, dans chaque cas, de faire des calculs basés sur des statistiques rigoureuses faisant connaître le pourcentage des communications intérieures, c'est-à-dire celles reliant entre eux les abonnés du multiple considéré, et le pourcentage des communications demandées pour des abonnés reliés à d'autres multiples. On admet en général que, si le pourcentage des communications intérieures est inférieur à 20 pour 100, il y a économie à ne pas munir les groupes de départ de jacks généraux.

» Cette base de 20 pour 100 n'a rien de rigoureux ; elle dépend essentiellement de la comparaison d'une part du prix de la main-d'œuvre supplémentaire imposée aux opératrices, et d'autre part au prix de revient du matériel économisé et de son amortissement.

» *Quelques conseils donnés aux abonnés.* — Si l'abonné, à juste titre, exige de la part de l'Administration un service parfait, il n'est pas sans intérêt de lui faire connaître quelques conseils de la *New York Telephone Co.* Il y a trois parties qui interviennent dans chaque communication téléphonique : la personne qui appelle, le bureau central téléphonique, et enfin la personne demandée. Il ne suffit pas qu'une seule ou même deux de ces parties fassent proprement leur service, il est essentiel, pour la bonne réussite de la communication, que les trois parties fassent un service irréprochable pour coopérer au succès de la communication.

» Les abonnés, et même généralement toute personne qui utilise le téléphone, peuvent venir en aide au service téléphonique en observant les règles suivantes :

» 1^o Consulter l'*Annuaire des Téléphones* avant de faire un appel, afin d'éviter les erreurs dues au défaut de mémoire.

» 2^o Parler clairement et distinctement directement dans l'embouchure du transmetteur.

» 3^o Énoncer avec soin, et selon les règles établies, les chiffres composant le numéro de l'abonné demandé.

» 4^o Si l'opératrice, en collationnant le numéro demandé, se trompe, il faut rectifier immédiatement l'erreur.

» 5^o Tenir le récepteur à l'oreille jusqu'à ce que l'abonné de-

mandé réponde, ou jusqu'à ce que l'opératrice fasse connaître la raison de l'insuccès de l'appel.

» 6° Se tenir prêt à parler dès que l'abonné demandé répond à l'appel. Prendre comme règle de bienséance que la personne demandée et qui se dérange pour répondre à un appel ne devrait pas être astreinte à attendre le bon plaisir de l'appelant pour pouvoir commencer la conversation.

» 7° Répondre sans délai aux appels téléphoniques. Les personnes qui mettent trop de temps à répondre à un appel risquent que l'opératrice fasse savoir à l'appelant qu'elle ne donne pas suite à l'appel, faute de réponse de la part de l'abonné demandé. Il est de l'intérêt de tous de réduire au minimum la durée d'occupation des lignes. Les réponses faites rapidement aux appels font gagner du temps et permettent d'augmenter le rendement des lignes.

» 8° Le fonctionnement du service téléphonique doit, dans une large mesure, tenir compte du fait que les éléments humains (public et téléphonistes) qui interviennent doivent être pris en considération. Le moindre froissement peut amener des paroles brusques et faire élever la voix plus que de raison ; il est donc de toute nécessité d'être courtois de part et d'autre, car dans le service téléphonique la courtoisie agit sur le bon fonctionnement du service comme de l'huile le ferait dans le fonctionnement des rouages d'une machine fort compliquée où tout frottement doit être évité avec autant de soin qu'il est indispensable d'éviter des heurts dans le mécanisme téléphonique.

» *Maquette expérimentale d'un multiple.* — La figure 4 représente un panneau de bois sur lequel sont fixés et câblés les divers organes d'une ligne d'abonné et d'un groupe de départ à batterie centrale intégrale.

» Tous les organes peuvent fonctionner comme ils le feraient sur le commutateur multiple. Une petite batterie de 12 éléments d'accumulateurs de 20 ampères-heures environ est reliée par des fils volants aux bornes + et — du bâti des fusibles représenté sur la partie inférieure du panneau. Un appel magnétique à courants alternatifs actionné à la main a ses bornes reliées par des fils volants

aux attaches situées dans le coin inférieur de gauche du panneau. Enfin un poste mobile à batterie centrale intégrale est relié par des fils volants aux attaches du répartiteur intermédiaire du panneau (attaches correspondant au jack local). Un deuxième poste à batterie centrale intégrale est relié par des fils volants aux attaches du répartiteur d'entrée du panneau, ce poste représente l'abonné demandé. Avec un panneau monté tel qu'il est représenté sur la figure 4, il est possible de permettre à un nombreux auditoire de suivre très nettement la succession des diverses manœuvres d'une mise en communication de deux abonnés. L'allumage de la lampe d'appel et des deux lampes de supervision se perçoit très nettement, même à distance, de sorte que leurs fonctions sont très aisées à être mises en évidence. On peut également montrer le fonctionnement de tous les autres organes tels que la clé automatique d'appel, les relais de supervisions, les relais d'appel et de coupure. Les fusibles installés à la partie inférieure du tableau montrent combien est efficace la protection du multiple contre les dangers d'incendie du courant de la batterie centrale. L'efficacité de cette protection a, dans la circonstance, un très grand intérêt, puisque le panneau de la figure 4 représente fidèlement le montage qui avait été réalisé pour le multiple sinistré du quatrième étage de Gutenberg. La protection contre les courants d'appel alternatifs avaient également été prévue, de sorte qu'il est permis de croire que la batterie centrale ne peut pas être mise en cause dans le sinistre de l'Hôtel des Téléphones, le 20 septembre 1908.

INCENDIE DE GUTENBERG ET RÉÉDIFICATION DU RÉSEAU DANS UN DÉLAI
DE DEUX MOIS.

» Les figures 1, 2 et 3, quoique très incomplètes, donnent une idée suffisante du système à batterie centrale installé dans le local de Gutenberg provisoire.

» Étant données les conditions tout à fait exceptionnelles dans lesquelles le local et les multiples provisoires ont dû être installés, nous croyons qu'il est intéressant de faire connaître les péripéties les plus saillantes de ce gigantesque travail, afin de permettre aux Parisiens de juger la somme considérable des travaux qui ont dû

être exécutés dans un temps très court, tellement court que nulle part au monde il ne fut jamais rien fait de plus vite ni de mieux dans un temps aussi limité.

» Lorsque le 20 septembre 1908, l'incendie de Gutenberg détruisit en quelques heures trois multiples (un de 6000, un de 9000 et un de 10000 lignes) et mit également hors de service les tables des 400 lignes interurbaines et suburbaines, il en résulta une perturbation telle que la France entière en fut atteinte.

» Cet incendie mettait brutalement hors de service environ 20000 lignes d'abonnés et plus de 400 circuits interurbains et suburbains représentant au total une perte d'environ 20 millions de francs.

» La configuration de Gutenberg au centre de la ville mettait également hors de service les lignes auxiliaires qui passaient par ce bureau pour relier entre eux les bureaux de la périphérie.

» Ce désastre annihila presque complètement la vie téléphonique de Paris et jeta un trouble profond dans les communications interurbaines du pays entier. Le péril était grand et le Gouvernement n'hésita pas à le considérer comme un péril national devant lequel toutes les lois en vigueur devaient céder afin de permettre à l'Administration et aux entrepreneurs de faire appel à tous les moyens d'action pour réparer le mal dans un délai minimum.

» M. Bouchard, l'ingénieur en chef, directeur des Services téléphoniques de Paris, prit en main la haute direction de tous ces travaux, dont il confia une partie à divers entrepreneurs.

» Il fut permis à la Société de Matériel téléphonique de faire appel à l'industrie américaine représentée par la Western Electric C^o de Chicago qui, dans le délai extraordinairement court de 18 jours, parvint à construire de fond en comble un multiple de 10000 abonnés, battant ainsi le record du monde entier dans ce genre de travaux.

» Un autre entrepreneur, la maison Thomson Houston, fut autorisé à utiliser tout son matériel en stock ou en voie de construction et destiné à d'autres bureaux de Paris en cours de transformation.

» Le très éminent architecte, M. Binet, dont le nom est déjà célèbre à Paris, fut chargé de l'établissement du local provisoire

(dans la rue Gutenberg qui servait de remise aux voitures de la Poste) et de la réutilisation d'une grande partie des locaux de l'Hôtel des Téléphones sinistré.

» Enfin, l'Administration se réserva pour sa part un travail considérable consistant dans la remise en état du réseau souterrain et du répartiteur d'entrée qui avait été entièrement brûlé dans le sous-sol de Gutenberg.

» La limite fixée par le Gouvernement pour la remise en état du réseau téléphonique était de deux mois pour la maison G. Aboilard et C^{ie}, et de deux mois et demi pour la maison Thomson-Houston, ces deux maisons ayant reçu leurs commandes fermes dans les journées des 26 et 27 septembre.

» 1^o *Travaux confiés à M. l'architecte Binet pour la construction du bâtiment provisoire de Gutenberg.* — Les travaux de construction commencèrent le 24 septembre 1908, et, étant donné le court délai imposé à leur exécution, il ne fallait pas songer à construire des fermes neuves. Pour tourner la difficulté, il fut convenu que l'on s'adresserait à un entrepreneur ayant du matériel disponible et l'on fut assez heureux de rencontrer le constructeur qui venait d'exécuter l'année précédente les abris de la Société de l'Automobile aux Invalides. Ce constructeur fournit des fermes qu'il a fallu néanmoins modifier pour s'adapter à l'emplacement; de plus, l'Administration ayant demandé deux galeries à hauteur du premier étage, il fallut construire entièrement l'ossature et les planchers de ces deux galeries. Ce travail de construction fut néanmoins très rapidement enlevé, car le 10 octobre suivant, c'est-à-dire 18 jours exactement après l'ordre de construire, le hangar provisoire clos et couvert de 70^m de long et 10^m de large était livré aux constructeurs des appareils téléphoniques.

» Le travail d'installation des arrivées de câbles entraîna de grosses difficultés, par suite de l'impossibilité de faire arriver ces câbles, du répartiteur installé dans l'ancien sous-sol de Gutenberg, au-dessous du plancher du bâtiment provisoire. Cette situation obligea de faire deux galeries souterraines faisant communiquer les deux bâtiments. Par suite de la disposition du sous-sol de la rue Gutenberg, il fallut passer ces galeries sous les égouts, ce qui eut

pour effet de compliquer le travail et nécessita l'ouverture de galeries de mines brisées analogues à celles exécutées pour les travaux du Métropolitain. Ce travail long et méticuleux fut néanmoins terminé dans un délai très court, 20 *jours environ*. Il fallut créer des équipes de jour et de nuit pour continuer l'avancement sans interruption ; la maçonnerie des galeries s'exécutant au fur et à mesure de l'avancement des travaux de terrasse.

» La température extérieure s'abaissant de plus en plus, il fallait prévoir qu'à un certain moment il ne serait pas possible de continuer le travail de montage des meubles téléphoniques dans le bâtiment provisoire, sans que celui-ci fût chauffé. Comme, d'autre part, il était impossible de faire une installation définitive, on assura le chauffage du bâtiment par une installation provisoire. A cet effet, il fut disposé dans l'Hôtel des Postes voisin une chaudière à haute pression alimentant des tuyaux à ailettes placés dans l'axe du bâtiment ; cette disposition permit aux ouvriers des constructeurs des commutateurs multiples de ne pas interrompre le travail de montage des multiples. L'ensemble de cette installation de chauffage ne demanda que 4 jours.

» Une installation provisoire fut également disposée pour assurer l'éclairage du local provisoire et des locaux des bâtiments anciens remis en service pour la circonstance ; une installation semblable fut de même exécutée pour assurer le service d'incendie en cas d'accidents.

» Concurrément avec ces installations provisoires, il fut procédé à l'installation définitive : faux planchers, gaines de câbles pour le répartiteur du sous-sol, réinstallation des services dans l'aile rue J.-J. Rousseau ; service d'incendie dans les deux bâtiments, chauffage définitif par des chaudières à basse pression et remise en état de l'installation ancienne. — Éclairage définitif de tous les locaux, y compris le bâtiment provisoire.

» Tous ces travaux furent entièrement terminés et le bâtiment provisoire livré à l'exploitation téléphonique dans un délai de cinq mois environ.

» Il a été impossible de donner à ce baraquement provisoire la solidité suffisante pour lui permettre d'affronter pendant longtemps les intempéries de l'atmosphère. La toiture vitrée surtout est fra-

gile et met ce baraquement à la merci des pluies torrentielles, des tempêtes de neige ou de grêle. Si l'on ajoute à ces raisons celles relatives aux dangers des dégagements résultant de l'exiguïté des locaux, on ne peut que conclure qu'il serait prudent de ne pas prolonger le séjour dans ce local provisoire au delà du temps strictement nécessaire à la réfection de l'ancien Hôtel des Téléphones de Gutenberg.

» Qu'il nous soit permis, à cette occasion, de rappeler qu'aux États-Unis les compagnies d'assurance ne font plus aucune difficulté à assurer les bâtiments occupés par des commutateurs multiples, depuis que les compagnies téléphoniques américaines ont généralisé l'emploi des protecteurs à l'entrée des lignes dans les bureaux centraux. En effet, les incendies qui étaient si fréquents aux États-Unis ont complètement disparu depuis l'adoption de ces protecteurs.

» Comme exemple de règlement d'incendie, nous donnons ci-après celui qui est en vigueur au Post Office anglais.

» 1° *Mesures préventives contre l'éclatement du feu :*

- a. Les tensions des courants à employer doivent être réduites autant qu'il est possible;
- b. Prévoir des fils conducteurs ayant une section suffisante pour ne pas s'échauffer lorsqu'ils sont parcourus par les courants d'intensité maxima auxquels ils sont destinés;
- c. Munir les répartiteurs d'entrée de protecteurs efficaces comprenant des bobines thermiques, des fusibles et des parafoudres;
- d. Employer des fils jarretières ininflammables;
- e. Interposer des résistances dans les circuits afin de limiter les valeurs des courants.

» 2° *Mesures préventives pour empêcher la propagation du feu :*

- a. Placer des cartons d'uralite sous les fils jarretières ininflammables ;
- b. Employer pour les multiples des meubles munis de cloisons séparatrices métalliques;
- c. Munir les canivaux horizontaux et verticaux de bourrages à des intervalles tels que tout appel d'air soit rendu impossible ;

d. Les bâtiments doivent être à l'épreuve du feu et contenir des portes doublées par des tôles d'acier, afin d'isoler entre elles les différentes parties de ces bâtiments ;

e. Employer du verre armé pour les fenêtres et les cloisons.

» 3^e *Précautions à prendre pour éteindre le feu :*

a. Un pompier expérimenté et très au courant du bâtiment et des appareils doit rester constamment de garde au bureau central ;

b. Dresser les employés aux manœuvres d'extinction du feu ;

c. Posséder un système efficace d'avertisseur d'incendie ;

d. Un grand nombre de morceaux de drap d'asbeste, d'environ 1 m², doivent être placés dans des baquets en fer-blanc peints en rouge et disposés aux places les plus convenables, où seront placées bien en vue des instructions relatives à leur emploi pour étouffer les flammes ;

e. Faire des provisions très amples de sable en signalant sur les instructions d'employer le sable de préférence à l'eau, le sable étant placé dans des seaux dont les dimensions ne sont pas trop grandes et au nombre de six au moins, à chacun des endroits qui leur sont réservés, avec, en plus, la précaution de les numérotter très lisiblement de façon qu'on s'aperçoive immédiatement de l'absence de l'un d'eux ;

f. On peut prévoir également de petits extincteurs chimiques ou de petites pompes à main, mais on ne doit les utiliser qu'en cas d'extrême urgence ;

g. Le principal conduit d'eau à forte pression doit avoir au moins 8^m de diamètre et être muni de postes d'eau disposés en des endroits où ils peuvent être maniés en toute sécurité : à chaque poste une lance et un long tuyau élastique doivent toujours être prêts à être employés ; le tuyau doit être replié sur lui-même de telle façon qu'il soit simplement nécessaire de tourner la roue, puis de s'emparer de la lance pour courir au feu, le tuyau devant se développer automatiquement avec l'aide de la pression de l'eau ;

h. Dans le but de sauvegarder les vies humaines, il faut périodiquement et régulièrement exercer tout le personnel aux manœuvres d'incendie ;

- i. Toutes les portes doivent s'ouvrir vers l'extérieur, et toutes les portes, corridors et escaliers devraient avoir une largeur amplement suffisante et devraient toujours être dégagés de tout encombrement; les bâtiments élevés devraient, en plus, avoir extérieurement des escaliers de secours en fer.

TRAVAUX EXÉCUTES PAR L'ADMINISTRATION.

» La remise en état des lignes de la circonscription de Gutenberg détériorées par l'incendie a nécessité de la part du personnel, à tous les degrés, un effort constant et soutenu qui a permis de rétablir toutes les communications dans un délai de six semaines environ. Les opérations qu'il a été nécessaire de faire sont multiples; elles peuvent être divisées en trois catégories :

- » 1^o Déblaiement du sous-sol;
- » 2^o Constitution d'un réseau provisoire;
- » 3^o Remise en état du répartiteur et rétablissement de toutes les lignes urbaines, suburbaines et interurbaines.

» 1. *Déblaiement du sous-sol.* — Les opérations de déblaiement du sous-sol ont été accomplies par les équipes d'ouvriers du service des lignes souterraines. Les travaux y relatifs ont été entrepris et menés à bien sans interruption le jour et la nuit. (Cinquante tonnes environ de débris, fers, bois, cuivre, plomb, ont été enlevées.) Il ne restait du répartiteur général d'entrée que le bâti en fer, dont une partie même a dû être remplacée.

» 2. *Constitution du réseau provisoire.* — Le réseau provisoire constitué dès les premiers jours qui ont suivi l'incendie comprenait les lignes officielles, les lignes des cabines publiques de la circonscription de Gutenberg, celles desservant un certain nombre de services, les banques, les grands magasins, les journaux, etc., etc. En plus des cabines existantes, un certain nombre de nouvelles cabines ont été ouvertes au public dans les établissements, les maisons de crédit, etc., etc. Toutes ces lignes ont été reliées aux bureaux centraux téléphoniques où il existait des annonceurs disponibles. Les câbles auxiliaires qui reliaient ces bureaux à

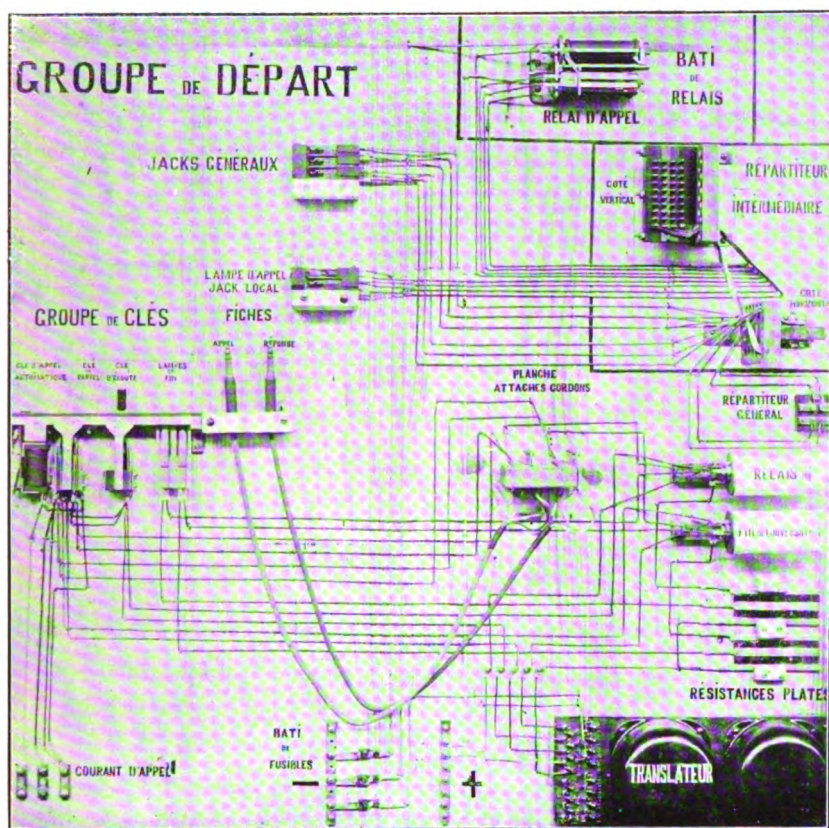


Fig. 4.

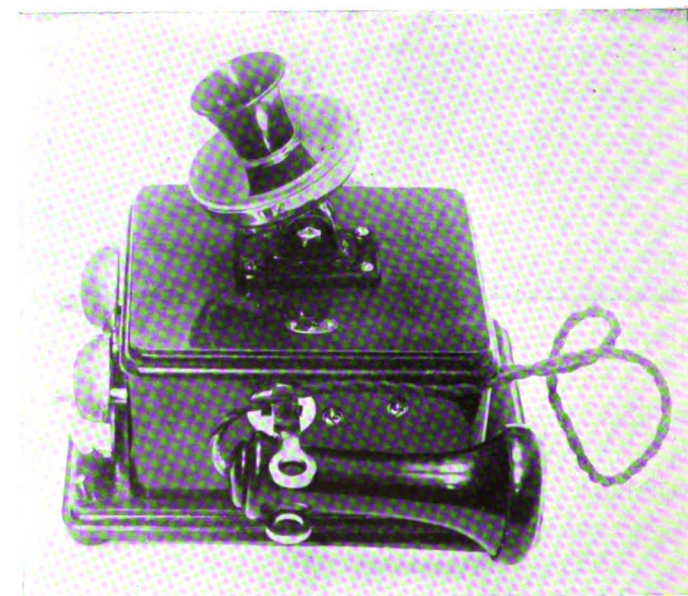


Fig. 5. — Poste mural.

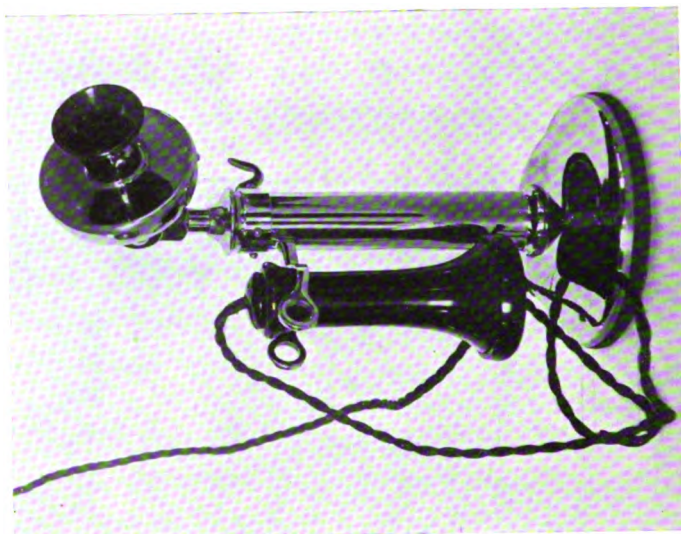


Fig. 6. — Poste mobile à colonne.

Gutenberg ont été, après vérification de leur état et au besoin après leur réparation, raccordés métalliquement dans le sous-sol de Gutenberg pour constituer les lignes auxiliaires directes entre ces divers bureaux et leur permettre ainsi de faire face aux exigences nouvelles de l'exploitation.

» Les lignes interurbaines ont été rattachées directement aux bureaux de la périphérie. Les lignes suburbaines qui passaient en coupure dans les bureaux de la périphérie ont été normalement raccordées sur les annonceurs disponibles qu'ils possédaient.

» Les grands circuits ont fonctionné quatre jours après l'incendie. Ceux de Londres, Bruxelles, Francfort, le lendemain même de cette catastrophe à 7 h 30 m du soir. Le 30 septembre, 416 circuits avaient été temporairement rétablis. Le 1^{er} octobre furent commencés les travaux de l'installation définitive des circuits interurbains et suburbains dans le nouveau bâtiment situé 29 rue du Louvre.

» 3. *Remise en état du répartiteur général d'entrée. Rétablissement de toutes les lignes.* — Le répartiteur général d'entrée du bureau de K contenait 300 têtes verticales en bois servant au raccordement de 300 câbles à 112 paires; 250 de ces organes avaient été atteints par le feu; 50 environ ont pu être réutilisés après avoir au préalable subi les réparations nécessaires.

» Il a donc été nécessaire de faire fabriquer par l'industrie privée les têtes en bois nécessaires et les réglettes en ébonite à 28 paires de plots qui constituent leur appareillage. Elles ont été équipées, montées et mises en place par le personnel ouvrier de l'Administration.

» Les câbles aboutissant à ces têtes verticales avaient été atteints par l'incendie ou détériorés par l'eau projetée à profusion dans le sous-sol. Il a été nécessaire sur chacun d'eux de remplacer des sections ayant une longueur variable suivant la profondeur de l'humidification.

» Des soudures en très grand nombre et des opérations nombreuses de câblage à partir des chambres de raccordement ont dû être effectuées. Tous les fils ont dû être reconnus dans les divers câbles à 56, 112 et 224 paires avant de pouvoir opérer les soudures.

» Le personnel ouvrier de la Direction des Services téléphoniques de Paris, renforcé par un certain nombre d'ouvriers venus de province, a seul pris part à ces délicates et nombreuses opérations.

» En temps normal une équipe de cinq hommes met deux jours pour emplacer une tête de câble. Le travail ayant pu être divisé, une équipe reconnaissait les fils et les soudait; une autre équipe préparait la tête verticale sur laquelle sont rattachés les conducteurs.

» Les premiers câbles rétablis ont été mis en service sur 18 standards installés aux anciens vestiaires par les agents mécaniciens du bureau K; cette installation a été faite dans des conditions de rapidité extraordinaire, nuit et jour de nombreux ouvriers y ont travaillé. Trois semaines après l'incendie près de 1800 lignes d'abonnés étaient rattachées sur ces standards; ces abonnés avaient ainsi un service partiel; ils pouvaient demander des communications.

» Les travaux de réinstallation du répartiteur général d'entrée se poursuivaient au sous-sol; 20000 fils de jonctions pour abonnés, 5000 fils pour lignes auxiliaires ont été placés pour réunir les têtes verticales aux réglettes horizontales où venaient aboutir les câbles des nouveaux multiples; 500 000 mètres de fils jarretières ignifugés à deux ou trois conducteurs ont été affectés à cet usage. Grâce à l'énergie et au dévouement incomparable des agents et ouvriers du service technique du bureau de Gutenberg; grâce aussi à la présence constante des ingénieurs, du chef du poste central et du personnel de surveillance, les 25000 lignes avaient été soudées, vérifiées et mises en bon état de fonctionnement à la date fixée par l'Administration aux constructeurs pour la livraison des nouveaux multiples.

» Pendant la durée de ces travaux qui se sont poursuivis nuit et jour, les lignes desservant les ministères, celles des services publics et celles de la presse avaient été provisoirement détournées et rattachées aux bureaux centraux téléphoniques du réseau de Paris.

» Quand on pense qu'il n'a fallu qu'un délai de six semaines pour réaliser ce tour de force vraiment extraordinaire de rétablir toutes les communications urbaines au sous-sol de K et toutes les communications interurbaines et suburbaines dans le nouvel immeuble

situé 29, rue du Louvre, on ne peut que féliciter l'Administration d'être arrivée à un tel résultat, et, certes, les abonnés ne peuvent que lui savoir gré d'avoir mis tant de zèle et d'énergie à reconstituer le réseau téléphonique de Paris.

» Le sinistre de Gutenberg fut cause du rappel immédiat des représentants de l'Administration française qui se trouvaient en ce moment à Budapest, au premier Congrès international des Postes, Télégraphes et Téléphones.

» Cette circonstance amena l'Administration française à convoquer toutes les nations à un nouveau Congrès qui aura lieu à Paris en 1910, date à laquelle on espère que le réseau téléphonique de Paris sera non seulement complètement réinstallé, mais sera, de plus, entièrement transformé en batterie centrale.

» *Des lignes aériennes et souterraines du réseau français.* — L'excellence des lignes téléphoniques françaises est universellement connue. Des perfectionnements, dus à l'ingénieur en chef des Postes, Télégraphes et Téléphones M. Lorain, ont donné aux lignes aériennes françaises une supériorité manifeste. Il est bon de rappeler que l'application si utile de l'air comprimé à la recherche des défauts qui sont occasionnés à l'enveloppe de plomb des lignes de câbles isolés au papier et au relèvement de leur isolement est due à M. Barbarat, ingénieur des Postes, Télégraphes et Téléphones, actuellement directeur de l'Office Tunisien. C'est vers la fin de l'année 1894 que M. Barbarat fit ses premiers essais du passage de l'air dans les câbles sous plomb isolés au papier qui sont de nos jours universellement adoptés dans les réseaux souterrains. De même de récents perfectionnements, dus à l'inspecteur des P. T. T. M. Gaucher, ont permis de rendre le réseau souterrain de Paris absolument irréprochable. Parmi ces perfectionnements nous citerons entre autres : la boîte de coupure système Gaucher qui facilite énormément le raccordement des lignes dans des chambres absolument étanches et disposées pour rendre très aisés les transferts des lignes d'un bureau à un autre. L'importance prépondérante des lignes dans tout système téléphonique, tout particulièrement en batterie centrale, permet donc de garantir pour la France un succès très aisé pour l'application de la batterie centrale intégrale, puisque

son réseau de lignes est dès à présent établi dans les meilleures conditions possibles.

» Du reste, comme le dit très bien l'ingénieur de l'Administration française des Postes, Télégraphes et Téléphones M. Milon, dans son excellente conférence sur l'état actuel de la téléphonie publiée en 1909, dans la deuxième Partie des Rapports préliminaires du Congrès international des Applications de l'Électricité tenu en 1908 à Marseille :

« Si la France n'occupe pas sur cette liste (statistique) un rang » particulièrement honorable, elle peut vraisemblablement se » targuer, au contraire, de venir en tête des grandes nations euro- » péennes si l'on considère le pourcentage des localités pourvues » d'un réseau téléphonique (4644 réseaux en France contre 4951 en » Allemagne en 1906). Notons d'ailleurs qu'avec ces 4644 réseaux » et ces 295 000 km de fils interurbains, il ne s'échange en France, » en 1906, que 15 630 142 conversations interurbaines, tandis qu'en » Angleterre il s'en échange 34 512 896 entre 1328 réseaux et sur » 206 000 km de fil. Ce simple rapprochement fait ressortir d'une » manière frappante le double point de vue duquel on peut envi- » sager le rôle du téléphone : ou le considérer surtout comme un » merveilleux adjuvant aux transactions commerciales, et porter » tout son effort sur les liaisons entre centres importants (ce qui a, » par ailleurs, l'avantage d'assurer aux lignes un excellent rende- » ment), ou estimer qu'il constitue un des bienfaits de la civili- » sation, qu'il importe tout d'abord de mettre à la portée du plus » grand nombre. »

» Nous estimons, quant à nous, que le téléphone doit être exploité par l'État tout comme le ferait un industriel, c'est-à-dire qu'il faut, tout en mettant le téléphone à la portée du plus grand nombre, s'arranger de façon à écouler en même temps le plus grand nombre de conversations interurbaines et urbaines, puisque ces conversations sont sa raison d'être.

» Ce résultat ne peut être obtenu que si le réseau interurbain et urbain, dans son ensemble, a été parfaitement bien étudié et établi d'après les principes exposés dans les quelques problèmes téléphoniques que nous étudions à la fin de cette conférence. Le public paie

actuellement un prix très raisonnable pour chaque communication interurbaine, ce prix étant établi sur une base commerciale. Il serait à souhaiter qu'une base commerciale analogue servit à la fixation des tarifs appliqués aux conversations locales.

TRAVAUX EXÉCUTÉS PAR LA SOCIÉTÉ DE MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE G. ABOILARD
ET C^{ie} ET PAR LA MAISON THOMSON-HOUSTON.

» Chacune de ces maisons fut chargée de livrer, monter et mettre en service un multiple complet de 10 000 abonnés, à batterie centrale, comprenant chacun 120 groupes de départ, 75 groupes d'arrivée et 15 groupes intermédiaires. Les groupes de départ sont disposés sur la galerie et ne sont pas pourvus de jacks généraux, les groupes d'arrivée et intermédiaires sont disposés au rez-de-chaussée et sont pourvus de jacks généraux multiplés de trois en trois groupes.

» Chacun de ces multiples a dû être relié à l'ancien répartiteur du sous-sol de K par une galerie souterraine pour permettre le passage des câbles à 21 paires, soie, coton et sous plomb. Le local fut divisé par une cloison provisoire en deux parts égales; celle du côté Gutenberg fut réservée à la maison Thomson-Houston et celle du côté de la poste centrale fut réservée à la Société de Matériel téléphonique (G. Aboilard et C^{ie}).

» Il est à remarquer que, pour gagner du temps, il fut décidé que chacun de ces multiples aurait d'abord tous ses circuits de liaisons métalliques, sans annonceur de fin, ni sur les groupes de départ, ni sur les groupes d'arrivée ou intermédiaires. On ne devait prévoir que les clés d'appel et les clés d'écoute.

» Cette simplification des circuits de liaison réduisait au minimum le nombre des organes indispensables des keyboards pour une mise en service immédiate.

» Les lignes d'abonnés proprement dites furent montées directement en batterie centrale d'appel, c'est-à-dire qu'elles furent munies de leurs relais d'appel et de coupure, et de leurs lampes d'appel. Cette méthode simplifiée du travail fut rendue possible grâce à cette circonstance vraiment heureuse que tous les postes d'abonnés de la circonscription de Gutenberg avaient déjà été transformés en vue de la batterie centrale d'appel, c'est-à-dire que

tous les postes avaient été transformés conformément au type du poste A de la figure 1.

» C'est grâce à la présence des piles locales α existant dans ces postes transformés qu'on put, dès l'abord, supprimer dans le multiple américain le translateur b^9 qui se trouve au centre des paires de cordons B des groupes de départ et le translateur g du monocorde d'arrivée G de la figure 3, qui se réfère au multiple américain. Il va de soi qu'aucun des organes b^3, b^6, b^7, b^8 et $g^1, g^2, g^3, g^4, g^5, g^6$ de la figure 3 ne dut être posé à l'origine de la mise en service du multiple américain. On se contenta de disposer sur les monocordes d'arrivée américains des clés d'écoute provisoires formées par de simples clés à poussoir du genre des clés de conversation ordinaires.

» Malgré ces simplifications, ces travaux présentaient des difficultés réelles. Il fallait poser une quantité énorme de câbles destinés à relier ces multiples au sous-sol de K et aux divers bâtis tels que les répartiteurs intermédiaires, les bâtis de relais et de coupure, les groupes de départ sur lesquels toutes les lampes d'appel, tous les jacks locaux et toutes les lignes auxiliaires devaient, dès l'origine, être mis en service.

» Malgré l'exiguïté des locaux et le temps vraiment réduit imposé comme délai, les deux maisons terminèrent leurs travaux en temps voulu et permirent ainsi au public parisien de réutiliser ses postes téléphoniques.

» Le courage et le dévouement des ouvriers et ouvrières fut digne de tout éloge, et ils rivalisèrent de zèle, stimulés qu'ils étaient par le désir de ne pas faire encourir à leurs maisons respectives les amendes formidables dont les menaçait l'Administration.

» Il est de toute évidence que, sans le concours du personnel ouvrier français dont les grandes qualités sont bien connues, jamais un travail aussi gigantesque n'eût pu être terminé en deux mois, d'autant plus que les constructeurs ont dû défalquer de ce délai le temps qu'il fallait à l'architecte pour leur livrer le local provisoire. Il fallut attendre également la fin des travaux des galeries souterraines. C'est en s'aidant les uns les autres et en tirant au mieux parti des circonstances même les moins favorables que l'ensemble de tous les travaux put aboutir à ce résultat heureux de

permettre une mise en service du réseau de Gutenberg sans que rien ne vint troubler son fonctionnement régulier.

» Tous les ingénieurs qui sont venus visiter ces travaux sont unanimes à déclarer que la valeur du service téléphonique donné par le bureau central provisoire est supérieure à celle du service qui existait avant l'incendie et que même ce bureau provisoire est actuellement le meilleur de Paris.

» Ceci prouve qu'on peut faire tout à la fois, vite et bien ; le tout est de s'entendre et de bien organiser dès l'origine la marche des travaux et de donner à chacun sa part équitable des responsabilités.

» La seconde partie des travaux, qui incombait aux entrepreneurs de multiples, consistait à transformer en batterie centrale tous les groupes de départ, d'arrivée et intermédiaires sans arrêter ni entraver en quoi que ce soit le service régulier du bureau central.

» Toutes les personnes du métier reconnaîtront combien cette seconde partie du programme présente de difficultés réelles. Il fallut installer, câbler et équiper en toute hâte tous les bâtis des translateurs, les tableaux des fusibles, les bâtis des relais de supervision, des relais de test, des condensateurs, etc.

» Tous les keyboards du multiple américain durent être remplacés, recâblés et munis de leurs organes complémentaires. Ces divers travaux furent, par les deux maisons, exécutés dans des délais prescrits et à l'entière satisfaction de l'Administration.

» Le 5 novembre, la maison Thomson-Houston put mettre en service 1200 lignes d'abonnés et les lignes de départ correspondantes. Les autres abonnés furent successivement mis en service pendant le mois de novembre. Les groupes d'arrivée furent terminés dans la dernière semaine de novembre.

» La maison G. Aboilard et C^{ie} termina ses 116 groupes de départ le 29 octobre. Le 2 novembre, elle reçut de New-York le répartiteur intermédiaire et le bâti des relais. Le 7 novembre les premières caisses du multiple de New-York furent reçues et aussitôt déballées. Le 10 novembre tous les meubles du multiple furent montés et le 23 novembre les jacks généraux des 10000 lignes furent installés. Le 24 novembre, les 500 câbles qui relient le multiple au sous-

sol de K furent posés et connectés. Le 1^{er} décembre, 800 lignes d'abonnés furent mises en service, et, du 1^{er} au 5 décembre, les derniers fils jarretières du répartiteur intermédiaire furent installés pour la mise en service du reste des 10 000 abonnés.

COMPARAISON ENTRE NEW-YORK ET PARIS AU POINT DE VUE
DU DÉVELOPPEMENT TÉLÉPHONIQUE.

» En 1898 nous fîmes un séjour de deux mois aux États-Unis pour y étudier les progrès accomplis en téléphonie. A cette époque les deux métropoles, New-York et Paris, avaient chacune 25 000 abonnés et le même nombre de bureaux. Les systèmes, appareils et organes étaient équivalents, quoiqu'à New-York, surtout les postes d'abonnés. C'est à ce moment que le problème de la batterie centrale se posait, puisque ce dernier système, après des essais tout à fait satisfaisants, avait donné la mesure de son efficacité. La *New York Telephone Company* n'hésita pas à s'imposer le très grand sacrifice de la mise au rancart de la totalité de son matériel téléphonique et de le remplacer par du matériel entièrement neuf et disposé pour faire immédiatement face à un développement de 80 000 abonnés, ce qui, à cette époque, était considéré comme fantastique. Ce procédé énergique, justifié du reste par des données rigoureuses, réussit à merveille, puisqu'au 1^{er} janvier 1909 cette compagnie put donner à son réseau un développement de 350 000 postes téléphoniques, alors qu'à Paris, où rien ne fut tenté avant 1906 en faveur de la batterie centrale, on parvint à peine pendant le même laps de temps au total de 65 000 postes.

» Il nous semble que cette comparaison suffit à elle seule à justifier l'excellence de la *batterie centrale intégrale*.

» *La téléphoniste française.* — Lorsque la téléphoniste est installée devant le multiple, elle est munie d'un récepteur serre-tête et d'un transmetteur plastron. Ces deux appareils forment son poste téléphonique et sont disposés pour lui laisser l'entière liberté des deux mains pour le maniement des fiches et des clés de son groupe, quelle que soit la position occupée par son buste. La téléphoniste

française est douée d'excellentes qualités professionnelles; elle n'a rien à craindre des comparaisons avec les autres pays, où le service téléphonique ne donne plus de satisfaction que grâce à des conditions indépendantes de la téléphoniste elle-même, telles, par exemple, l'entraînement technique qu'elle reçoit dans une école d'opératrices modèles, la perfection du matériel et de son exploitation.

» On peut, de plus, dire à l'avantage des téléphonistes françaises qu'elles ont l'esprit prompt, du courage, et surtout énormément de souplesse et de bonne volonté, c'est-à-dire un ensemble de qualités telles qu'il n'y a aucune raison pour ne pas être assuré dès maintenant que le service deviendra égal, si ce n'est meilleur, à celui des autres pays, dès que la réorganisation du réseau sera une chose accomplie grâce à l'adoption du système de la batterie centrale intégrale et de ses méthodes d'exploitation et d'organisation.

OPINION DE M. JOHN HESKETH.

» Il est intéressant de connaître l'opinion qu'un éminent ingénieur australien, M. John Hesketh, a émise dans une interview qu'il eut avec le représentant de l'*Electrical Engineer* lors de son dernier voyage en Europe.

» Voici comment s'exprimait M. John Hesketh :

« L'Amérique tient, sans aucun doute, la tête à la fois dans le » développement général des affaires téléphoniques, c'est-à-dire » dans l'emploi de ce service pour le public, et dans le développe- » ment technique de cette industrie.

» La grande avance que l'Amérique a sur le reste du monde en » matière téléphonique est nettement visible, et en Europe on fait » le meilleur ouvrage quand on suit l'expérience américaine.

» Il semble résulter de l'historique général du téléphone en » Amérique que les Américains, en général, ont plus volontiers » recours au service téléphonique que les Européens. Ils sont plus » prompts à se servir des nouveaux moyens de communication, et » chaque perfectionnement dans le service et chaque accroissement » des facilités sont aussitôt employés avantageusement. »

» M. Hesketh ajoute encore cette réflexion bien typique sur l'esprit pratique des Américains :

« Comme exemple de l'extension à laquelle le téléphone est arrivé » en Amérique, je vous dirai que je n'ai jamais couché dans un » hôtel, pendant le cours de mon voyage, où il n'y eût dans ma » chambre un téléphone dont je pouvais me servir, non seulement » dans le service de la ville, mais aussi bien dans les services » suburbains et interurbains. C'est un énorme avantage pour le » voyageur de pouvoir parler à n'importe quel point du pays, de sa » propre chambre d'hôtel. En Europe, en général, les hôteliers ne » semblent pas penser que cela vaille la peine de fournir à leurs » hôtes de telles facilités. »

» Comme il sera décrit plus loin, ces facilités ne peuvent être obtenues que par le développement des bureaux privés annexes. Tout le secret de la popularité et de l'extension du téléphone, en Amérique, réside dans les facilités procurées par le développement des bureaux privés annexes à batterie centrale et par l'application des tarifs à conversations taxées et à paiement préalable.

» Aux États-Unis, les 10 villes qui, au 1^{er} janvier 1909, avaient le pourcentage le plus élevé du nombre des postes réservés aux bureaux privés annexes par rapport au nombre total des postes dans chacune de ces villes sont :

	Pour 100.
New-York (N.-Y.).....	37
Washington (D. D.).....	35
Altoona (P. a.).....	29
Philadelphie (P. a.).....	28
Saint-Louis (M. o.).....	26
Minneapolis (Minn.)	24
Wilkesbarre (Pa.).....	23
Pittsburg (Pa.).....	22
Schenectady (N. Y.).....	22
Saint-Paul (Minn.).....	22

» M. Hesketh ne voit aucune raison pour que le développement de 20 postes téléphoniques pour 100 habitants ne puisse être atteint, comme l'ont prédit les ingénieurs américains. Certaines villes sont même déjà très près de cette densité téléphonique. C'est ainsi

qu'aux États-Unis, les 10 villes ayant les plus fortes densités téléphoniques, au 1^{er} janvier 1909, sont les suivantes :

	Pour 100
Spokane (Wash.)	15,3
Dallas (Texas.)	15,0
Denver (Colo.)	14,1
Los Angeles (Cal.)	13,4
Portland (Ore.)	13,3
Omaha (Neb.)	13,3
Springfield (Mass.)	12,1
San Francisco (Cal.)	12,1
Chattanooga (Tenn.)	11,9
Seattle (Wash.)	11,5

» En Europe, la ville de Stockholm possède 337 000 habitants et 52 177 postes, soit une densité téléphonique de 15,5 pour 100.

» Les seules conditions à remplir pour arriver à ce développement sont, d'après M. Hesketh, les suivantes :

» 1^o Un service efficace ;

» 2^o Un tarif gradué ;

» 3^o Une connaissance complète de la part du public de la valeur du service téléphonique.

» En ce qui concerne l'efficacité du système, M. Hesketh s'exprime comme suit :

» Le résultat le plus intéressant de mes recherches est ce fait que le système à *batterie centrale* est maintenant reconnu par les ingénieurs téléphonistes du monde entier comme le meilleur principe des commutateurs. Pratiquement, en Amérique, tout le service téléphonique est fait par la batterie centrale, et, en Europe, il est en train de s'introduire; et partout où il n'est pas introduit, la raison en est seulement due à une question locale ou de propriété et non parce que les ingénieurs responsables ne croient pas dans le principe de la batterie centrale.

» M. Hesketh estime de plus qu'il est *indispensable* de développer l'instruction téléphonique du public. C'est uniquement dans ce but que nous offrons la présente Étude, trop heureux si nos efforts peuvent aboutir à ce résultat.

» A titre de modèle de taxations téléphoniques équitables, nous

donnons ci-après les tarifs actuellement à l'étude en Australie, la résidence de M. John Hesketh.

» Chacune des classes de services ci-après désignées seront tarifées comme suit :

» Dans des réseaux ayant de 1 à 10000 habitants, il sera perçu, dans un rayon de 8 km autour du bureau central principal, 75 fr (£ 3) par année pour un service exclusif; 63 fr (£ 2/10) par année pour chacun des deux abonnés greffés sur une même ligne; 50 fr soit (£ 2) par année pour chacun des trois, ou d'un nombre plus considérable d'abonnés greffés sur une même ligne.

» Dans des réseaux ayant une population de 10001 à 100000 habitants, il sera perçu, dans un rayon de 16093 m soit (10 miles) autour du bureau central principal 88 fr soit (£ 3/10) pour un service exclusif; 69 fr soit (£ 2/15) pour un service partagé à deux abonnés; 57 fr soit (£ 2/5) pour un service partagé à trois ou à un nombre plus grand d'abonnés.

» Dans des réseaux ayant une population de plus de 100000 habitants il sera perçu, dans un rayon de 16 km (10 miles) autour du bureau central principal, 100 fr soit (£ 4) par année pour un service exclusif; 75 fr soit (£ 3) par année pour un service partagé à deux abonnés; 63 fr soit (£ 2/10) par année pour un service partagé à trois ou à un plus grand nombre d'abonnés.

» La taxe de 0,05 fr (half penny) par unité de conversation sera faite pour chaque communication ayant abouti et comprise dans les 2000 premiers appels faits dans un délai de 6 mois; la taxe pour chaque unité de communication au-dessus de ce nombre sera de 0,035 fr (one third penny).

» Dans tous les cas où des câbles sous-marins ou des constructions spéciales sont imposés, des charges spéciales peuvent être demandées. La longueur maximum de la ligne d'abonné pour les taxes énumérées ci-dessus est de 3,225 km (2 miles). Pour des lignes dépassant cette longueur l'abonné doit payer annuellement pour chaque 400 m (quarter mile) 12,50 fr (10/) pour un service exclusif; 6,25 fr (5/) pour un service partagé à deux abonnés; 3,15 fr (2/6) pour un service partagé à trois ou à un plus grand nombre d'abonnés.

» Les factures seront envoyées tous les six mois et doivent être payées dans les 14 jours sous peine des pénalités en vigueur.

» Un état certifié exact par un fonctionnaire responsable du département envisagé doit être accepté comme tel.

» M. Hesketh estime que le système téléphonique de New-York est celui qui devrait servir de modèle aux autres pays. Tous les commutateurs multiples y sont équipés d'une façon uniforme dans des constructions spéciales à l'épreuve du feu. Le réseau téléphonique y est entièrement souterrain en utilisant des câbles sous plomb. Le service y est à tous égards excellent au plus haut point.

» Londres aura dans quelque temps un service téléphonique analogue à celui de New-York, puisque le travail y est conduit à peu près de la même manière qu'à New-York ; mais la superficie de Londres est immensément plus grande que celle de New-York (et *a fortiori* que celle de Paris).

» Il est bon de signaler en passant que Paris est, de toutes les villes du monde, celle qui est la mieux constituée pour favoriser à peu de frais un grand développement téléphonique, à cause de son réseau à égouts exceptionnellement remarquable et à cause de la faible étendue de son territoire.

» M. Hesketh croit que dans n'importe quelle ville un développement d'au moins 10 pour 100 peut être atteint dans le cours normal des affaires et qu'un système téléphonique doit être prévu dès le commencement pour assurer ce développement.

» Au point de vue des commutateurs automatiques, M. Hesketh dit qu'il est plus que douteux que le commutateur automatique doive remplacer toutes les autres méthodes. La tendance des témoignages de la grande majorité des ingénieurs téléphonistes, quoique tous reconnaissent l'ingéniosité montrée dans les systèmes automatiques et les avantages des commutateurs automatiques sous certaines conditions, est en faveur du système direct à *batterie centrale*. Il ne faut pas oublier que le système à batterie centrale est déjà largement automatique et qu'il le deviendra sans doute davantage lorsque des perfectionnements seront faits.

» Le perfectionnement probable sera de placer plus de systèmes automatiques entre les mains de l'opératrice et de maintenir le

poste d'abonné dans son état actuel de simplicité, où tout ce que l'abonné a à faire est de décrocher son récepteur.

» Nous ne connaissons jusqu'à présent aucun système automatique qui se prête à l'adoption des bureaux privés annexes, des lignes partagées, des tarifs à conversations taxées et à paiement préalable.

» Jusqu'à nouvel ordre, on doit donc accorder la préférence au système à batterie centrale.

BUREAUX PRIVÉS ANNEXES.

» I. *Aperçu général.* — Le téléphone est actuellement devenu indispensable à tout homme d'affaires. Il faut qu'il puisse journellement de son bureau parler avec ses employés et ses correspondants établis en ville, en province ou à l'étranger, car les distances ne comptent plus : tout s'efface devant la nécessité absolue de la rapidité des communications. C'est même grâce à l'efficacité du service téléphonique qu'est dû, en grande partie, l'essor prodigieux de ces dernières années aux États-Unis d'Amérique, où les communications peuvent s'étendre sur un immense réseau à longues distances dont certaines lignes atteignent jusqu'à 2000 km, et dont le nombre total des postes d'abonnés dépasse 6 millions. Nous disons postes d'abonnés, et non pas *abonnés*, car la particularité des grands réseaux américains est l'installation privée avec ses 20, 100, 500 ou 1000 postes, réservés aux communications intérieures d'un grand magasin, d'une usine, d'une banque ou d'un grand hôtel. De chacun de ces postes privés on peut également parler aux autres abonnés du réseau, mais la plupart des conversations se limitent aux besoins intérieurs.

» La grande souplesse du service des petits réseaux privés greffés sur le réseau extérieur et les facilités énormes ainsi que la grande économie réalisée par la batterie centrale ont permis de décupler depuis dix ans le nombre des téléphones aux États-Unis.

» Les principes essentiels de ce système sont l'automatisme des signaux lumineux et la suppression des piles primaires chez les abonnés, tout le courant étant fourni par le bureau central.

» Dans toute usine, maison de commerce, banque ou administration, on peut économiser énormément le temps des chefs et de tout le personnel au moyen d'une installation téléphonique. Mais il faut que cette installation soit irréprochable, car l'expérience a montré combien une installation médiocre peut être nuisible en faisant perdre du temps au lieu d'en gagner.

» Pour obtenir une installation privée de premier ordre, il faut tout d'abord la faire étudier par un ingénieur spécialiste qui s'arrangera pour l'approprier aux besoins particuliers en vue et qui diffèrent notablement dans chacun des cas. Il faut, de plus, que le matériel soit de toute première qualité et qu'enfin l'installation des fils et des appareils soit bien soignée. Si ces conditions sont remplies on peut être certain que le temps économisé paiera largement et rapidement les frais.

» II. *La batterie centrale.* — Le succès de la *batterie centrale* tient à ce qu'elle résoud le problème de l'exploitation téléphonique aussi bien pour les grands réseaux que pour les plus petits.

» Pour appliquer la batterie centrale économiquement aux petits réseaux, il a été imaginé un matériel spécial peu coûteux.

» Le nom de *batterie centrale* vient de ce que toute l'énergie électrique pour assurer le fonctionnement des signaux d'appel et la transmission de la parole est fournie par une batterie d'accumulateurs placée au bureau central (l'âme de tout le système).

» Les postes téléphoniques sont réduits à leur plus simple expression : un transmetteur, un récepteur, une sonnerie et un crochet commutateur. C'est tout : aucune pile, aucun appel magnétique, pas de bouton d'appel. (Les différents modèles de postes à batterie centrale sont représentés sur les figures 5, 6, 7 et 8.)

» En même temps que le matériel, les manœuvres imposées pour l'exploitation se trouvent simplifiées à l'extrême. Il suffit, en effet, pour communiquer avec le bureau central, que l'abonné décroche son récepteur et le porte à l'oreille. La conversation terminée, la remise en place du récepteur donne automatiquement au bureau central le signal lumineux de fin.

» Est-il possible d'imaginer un système plus simple et plus commode ?

» La suppression des piles, des appels magnétiques, des clés d'appel, la simplification du mécanisme des postes constituent un immense progrès sur les anciens systèmes.

» Il en résulte une économie de matériel, une grande facilité d'installation, un moindre encombrement, la suppression presque totale de toutes les causes de dérangements si nombreuses dans les anciens postes, et, par suite, une grande économie d'entretien, et enfin, pour les personnes qui se servent des postes, une étonnante facilité d'emploi.

» Mais ce ne sont pas là les seuls avantages de la batterie centrale. L'automatisme des signaux d'appel et de fin de conversation du bureau central assure une grande sûreté et une grande rapidité de mise en communication.

» III. *Son application aux petits réseaux. Bureaux privés annexes.*

— Le *bureau privé annexe à batterie centrale* est un tableau commutateur téléphonique sur lequel sont reliées toutes les lignes intérieures et extérieures appartenant à une même firme, maison, usine, établissement ou administration quelconque.

» Toutes les communications (aussi bien intérieures qu'extérieures), peuvent donc (avec le *bureau privé annexe*) être assurées par une seule et même employée téléphoniste, ce qui représente une notable économie sur les systèmes anciens, qui exigeaient des tableaux différents pour chaque espèce de ligne.

» Le commutateur est disposé de façon à ne permettre qu'à un certain nombre de lignes intérieures de communiquer avec les lignes extérieures, et, à cet effet, on prévoit deux séries de cordons dont une sert aux communications intérieures et dont l'autre sert à relier les lignes extérieures avec celles des lignes intérieures qui ont été munies d'un jack supplémentaire spécial.

» Il est impossible avec les organes du tableau commutateur de relier aux lignes extérieures un poste non autorisé à recevoir ce genre de communications.

» Pendant la nuit ou pendant les heures de fermeture des bureaux on peut s'arranger de façon à relier en permanence un ou plusieurs postes avec une ou plusieurs lignes extérieures, dans le but de ne pas rester isolé du réseau de l'État.

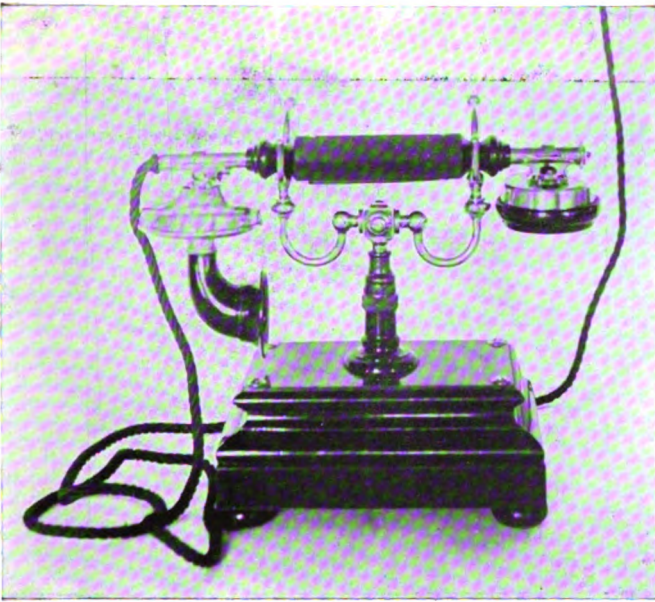


Fig. 7. — Poste mobile à microtéléphone (service privé).

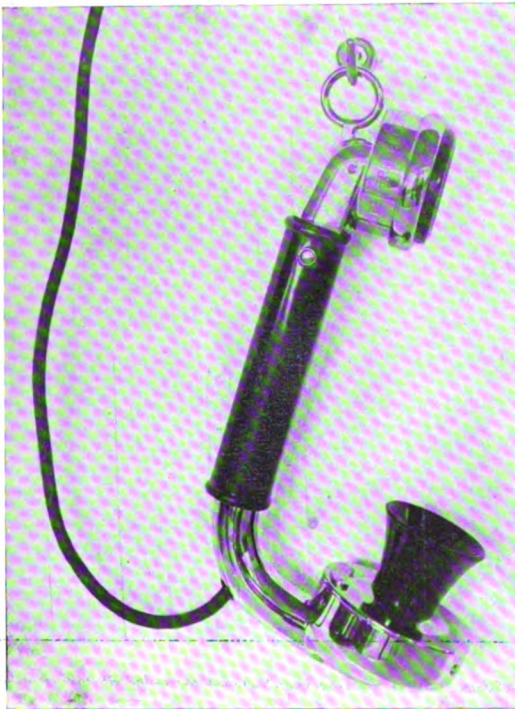


Fig. 8. — Poste mobile à microtéléphone (pour longues distances).

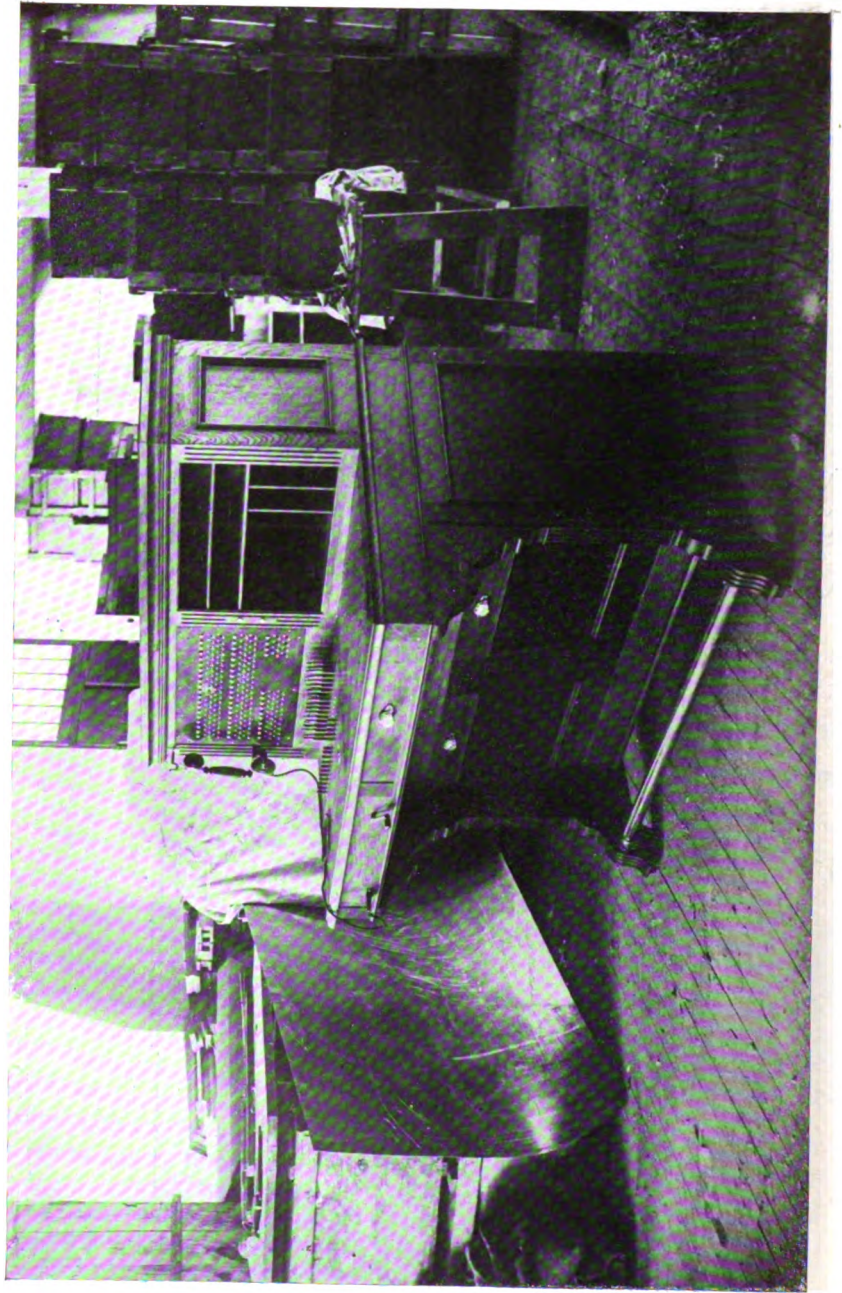


Fig. 9. — Bureau privé annexe (standard).

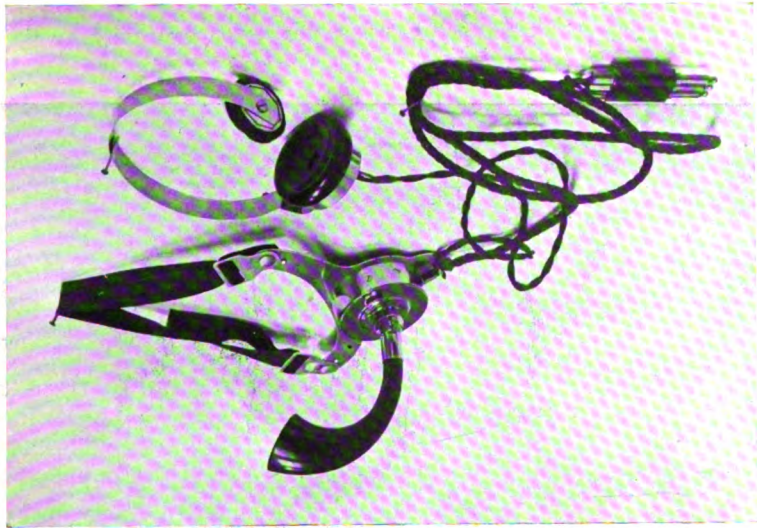


Fig 10. — Poste d'opératrice à microphone;
plastron et récepteur serre-tête.

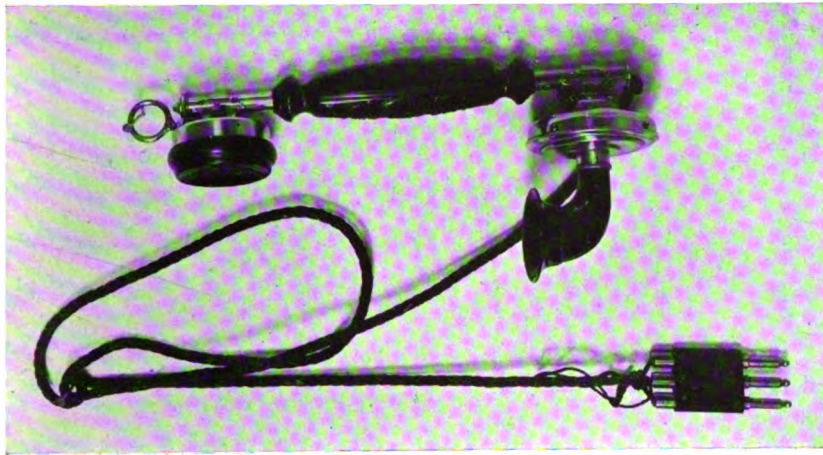


Fig. 11. — Poste d'opératrice à microtéléphone.

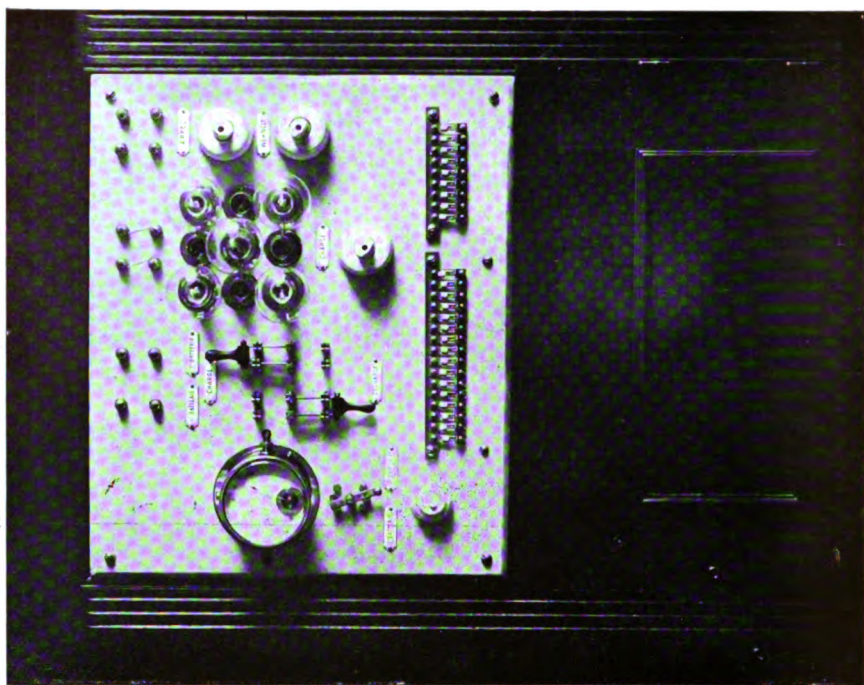


Fig. 13.

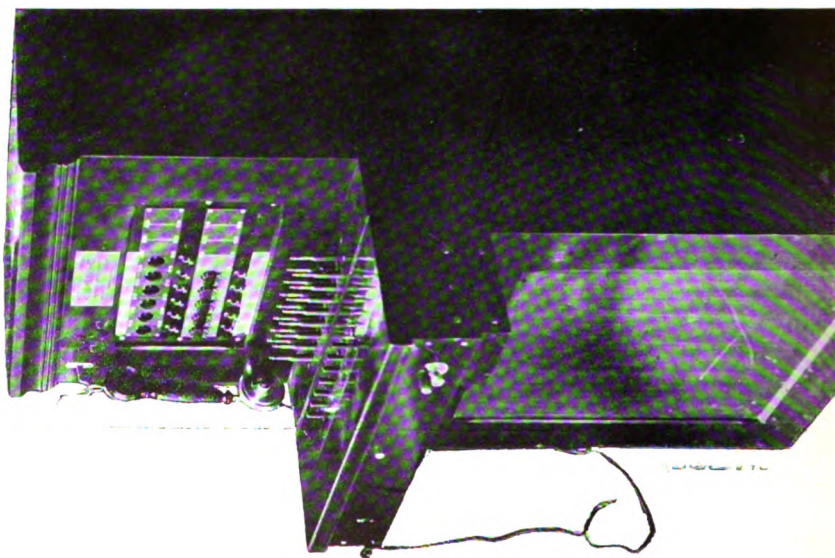


Fig. 12.

» Les tableaux commutateurs à batterie centrale comportent deux modèles d'appareils :

- » *a.* Les standards à lampes ;
- » *b.* Les standards à signaux automatiques.

» *a. Standards à lampes.* — Le standard à lampes convient à un nombre quelconque de postes d'abonnés et comporte un appareil central qui peut être organisé pour servir en même temps de bureau (*fig. 9*).

» Au commutateur central sont placés les signaux d'appel représentés par de petites lampes à incandescence, et des prises de contact ou jacks auxquelles aboutissent les lignes venant des divers postes.

» La mise en communication se fait au moyen de paires de cordons souples, munis chacun d'une fiche s'adaptant aux jacks ; à chaque paire de cordons sont associées deux petites lampes de supervision et une clé d'écoute et d'appel.

» Les lampes de supervision servent, lorsqu'une communication est établie, à indiquer à tout instant l'état des postes correspondants. Elles sont commandées respectivement par les deux postes en relation et chacune d'elles est disposée pour s'allumer lorsque le récepteur est accroché au poste auquel elle est momentanément associée. La clé combinée d'écoute et d'appel a un double rôle : elle porte un levier qui, lorsqu'il est manœuvré dans un sens, met le poste de la téléphoniste en communication avec le poste appelant. C'est la position d'écoute. En manœuvrant le levier dans l'autre sens on appelle le poste demandé.

» Lorsqu'à un poste le récepteur est enlevé de son crochet, la lampe d'appel correspondante s'allume ; elle reste allumée tant que le récepteur est décroché et tant que la téléphoniste n'a pas répondu à l'appel.

» La téléphoniste répond à l'appel en enfonçant une fiche d'une des paires de cordons dans le jack du poste appelant et en abaissant la clé correspondante d'écoute. Cette manœuvre efface automatiquement le signal d'appel. La téléphoniste appelle le poste demandé en enfonçant dans le jack correspondant la deuxième fiche de la même paire de cordons, allumant ainsi la lampe de supervision correspondante qui reste allumée tant que, au poste appelé, le

récepteur n'est pas décroché. La téléphoniste n'a pas besoin d'écouter pour s'assurer de la réponse, elle en sera aussitôt avertie par l'extinction de la lampe.

» Si au poste appelé on tarde à répondre, la téléphoniste renouvelle l'appel et, en cas d'insuccès, elle en avertit le poste demandeur.

» La conversation ayant eu lieu, les récepteurs sont raccrochés à chaque poste; aussitôt les deux lampes de supervision s'allument, indiquant la fin de la conversation. La téléphoniste retire les fiches, sans qu'il soit nécessaire pour elle de s'assurer que la conversation est bien terminée.

» L'allumage d'une seule des deux lampes de supervision indique qu'à l'un des postes seulement le récepteur est raccroché; par suite, la conversation n'est pas terminée, la personne qui se sert du poste ayant pu, par exemple, raccrocher un instant le récepteur pour chercher un document. C'est seul l'allumage simultané des deux lampes de supervision qui constitue le signal de fin.

» Toute fausse manœuvre est rendue impossible; la téléphoniste n'a jamais à écouter pour s'assurer qu'une communication a réellement eu lieu; tant que les lampes de supervision ne sont pas allumées simultanément, c'est que la conversation n'est pas terminée; par conséquent jamais une conversation en cours ne pourra être coupée.

» D'autre part, le signal de fin apparaissant nettement aussitôt que la conversation est terminée, la communication sera aussitôt rompue et chacun des postes pourra sans retard demander une autre communication.

» Le poste de la téléphoniste peut être constitué de différentes manières suivant le plus ou moins grand trafic de l'installation. Pour un service très chargé, la téléphoniste peut être munie d'un microphone plastron et d'un récepteur serre-tête (*fig. 10*). Un simple microtéléphone peut suffire à un service moins actif (*fig. 11*).

» *b. Standards à signaux automatiques.* — Lorsque l'installation ne comporte qu'un petit nombre de postes (20 au maximum), on peut utiliser, par raison d'économie, le modèle de standard à signaux automatiques (*fig. 12*).

» Chacun de ces signaux est constitué par un relais dont l'arma-

ture, placée au-dessus du jack correspondant, apparaît au moment de l'appel et disparaît en fin de conversation au moment où l'abonné raccroche son récepteur. Ces relais jouent à la fois le rôle de signaux d'appel et de supervision.

» La menuiserie de ces standards peut être simplifiée et la batterie centrale peut être d'un voltage moins élevé que dans le cas du standard à lampes.

» L'adoption de ce modèle est donc plus économique pour une petite installation.

» Les manœuvres imposées à la téléphoniste et aux abonnés sont en tous points analogues à celles décrites au paragraphe précédent.

» IV. *Installation d'énergie.* — La *batterie centrale* de 24 volts pour l'appareil à lampes ou de 12 volts pour l'appareil à signaux est formée par une petite batterie d'une capacité en rapport avec l'importance de l'installation. Une batterie de 20 ampères-heures suffit pour les petites installations.

» En général, deux batteries sont prévues pour permettre la charge de l'une pendant l'utilisation de l'autre.

» Un tableau de distribution (*fig. 13*) permet de vérifier l'état des batteries d'accumulateurs ou leurs liaisons, soit avec le bureau central, soit avec une source d'énergie électrique, pour la charge de ces accumulateurs. Dans la plupart des cas, cette source extérieure d'électricité est constituée par le courant de la lumière électrique.

QUELQUES PROBLÈMES TÉLÉPHONIQUES.

» En installant un service téléphonique, il est essentiel d'étudier le problème dans son acception la plus large pour s'assurer si le téléphone pourra être d'un bon rendement pour l'exploitant et devenir, en même temps, pour le public un objet de première nécessité comme dans les pays en progrès, tels que les États-Unis d'Amérique.

» Le problème, qu'on le considère au point de vue électrique, au point de vue de la construction ou encore au point de vue commercial (ce dernier comprenant les études relatives aux méthodes d'exploitation les plus économiques, aux tarifs des abonnements,

aux différentes sortes de services, etc.), s'est toujours montré être un problème pratique. Seuls, la pratique et l'usage pratique ont pu indiquer la solution de tout problème en face duquel on s'est trouvé. Il semble que la science de l'ingénieur électricien n'offre aucun champ où la spéculation et la théorie soient si tentantes et conduisent à des résultats si trompeurs. Les expériences de laboratoire, si minutieuses soient-elles, ont toujours induit les ingénieurs en erreur, jusqu'au jour où le côté pratique du problème a été enfin mieux compris. L'ignorance de ce fait a conduit certaines administrations à gaspiller d'énormes sommes d'argent pour installer en grand des systèmes qui paraissaient donner entière satisfaction dans le laboratoire, mais qui, dans la pratique, se montrèrent inutilisables.

» En téléphonie, la meilleure règle est de ne jamais chercher à faire école en lançant sur une grande échelle des systèmes non encore sanctionnés par la pratique. Toute dérogation à cette règle élémentaire conduit au gaspillage des ressources disponibles sans aucun avantage ni pour l'exploitant ni pour le public.

» Depuis bien des années, les ingénieurs ont fait des études sur les conditions du service téléphonique, et ils ont pu établir des statistiques et des données si exactes, qu'on est arrivé aujourd'hui à résoudre, avec une étonnante précision, les problèmes les plus évasifs, tels la distribution future des abonnés et leur nombre dans une ville donnée après un développement de 20 ans, ou bien l'intensité possible de la transmission de la voix entre deux bureaux centraux dans deux villes très éloignées l'une de l'autre, ou, tel encore, la durée de l'attente probable d'un abonné avant la réponse de l'opératrice, si son appel se fait à une heure très chargée de la journée. C'est grâce surtout aux efforts des ingénieurs de l'*American Telephone and Telegraph Company* qu'il est possible, aujourd'hui, de s'attaquer pratiquement à chaque problème téléphonique en s'appuyant sur une base exacte et mathématique, résultant des connaissances accumulées.

» Il n'a, pour ainsi dire, rien été publié de ce travail : les rapports en sont établis par les grandes compagnies téléphoniques d'Amérique et d'Angleterre.

» *Élasticité du système.* — Partout le téléphone a rapidement dépassé les espérances les plus optimistes qu'il avait fait concevoir. Dans chaque cas, pour ainsi dire, les dispositions qu'on avait prises se trouvèrent être absolument insuffisantes, et, au bout de plusieurs années, on se vit forcé, au prix de grandes dépenses, de remanier entièrement le système. Il faut donc que le système adopté puisse s'étendre facilement et indéfiniment, comme ce fut le cas à New-York, où le système à batterie centrale, tout naturellement et sans changement, permit de porter le nombre des postes de 40 000 en 1898 à 326 907 au 1^{er} janvier 1909.

» *Nature générale du téléphone.* — Il faut que l'appareil, tout en étant sensible à un courant électrique excessivement faible, soit cependant assez robuste pour que le premier venu puisse le manier sans craindre d'en déranger les organes délicats. D'un autre côté, il faut qu'il soit construit de manière à répondre à chaque impulsion de courant. Un téléphone, pour être un instrument d'un usage courant, ne doit jamais manquer à sa tâche, ne serait-ce qu'un instant. Il faut qu'on puisse compter sur lui d'une manière absolue. Il faut qu'il puisse, sans difficulté, faire face à l'imprévu et il faut qu'il fonctionne toujours.

» *Quelques statistiques générales.* — Il peut être intéressant de connaître les proportions énormes prises par le téléphone aux États-Unis, où il a pu se développer librement et où tout a été fait pour augmenter ce développement. C'est en grande partie au téléphone qu'on attribue la grande prospérité récente de ce pays.

ÉTATS-UNIS. — 1^{er} janvier 1909.

Postes par 100 habitants.....	7,6							
Nombre total de postes.....	6 618 000							
Nombre de bureaux centraux.....	15 527							
Kilomètres de fils téléphoniques.....	22 326 000							
Population.....	89 000 000							
Capital investi.....	4 950 000 000 fr							
(1907 : 4 029 000 000 fr — 1908 : 4 262 000 000 fr)								
Nombre estimé d'employés.....	150 000							
Nombre annuel de messages par 1000 habitants (1907).	<table><tr><td rowspan="3">{</td><td>Postaux.....</td><td>80 045</td></tr><tr><td>Télégraphiques..</td><td>1 169</td></tr><tr><td>Téléphoniques..</td><td>103 387</td></tr></table>	{	Postaux.....	80 045	Télégraphiques..	1 169	Téléphoniques..	103 387
{	Postaux.....		80 045					
	Télégraphiques..		1 169					
	Téléphoniques..	103 387						

Nombre de communications en 1908	11 373 000 000
Revenu brut —	959 000 000 fr
Frais d'exploitation —	732 000 000 —
Montant total des salaires payés —	355 000 000 —

» L'avancement considérable des États-Unis résulte du classement des divers pays d'après le nombre de postes par 100 habitants, comme le montre le Tableau ci-après :

	Postes par 100 habitants au 1 ^{er} janvier 1909.
États-Unis.....	7,6
Canada.....	3,4
Suède.....	3,1
Danemark.....	3,1
Norvège.....	2,3
Suisse.....	1,9
Allemagne.....	1,4
Angleterre.....	1,3
Pays-Bas.....	0,8
Belgique.....	0,5
France.....	0,5
Autriche.....	0,3
Hongrie.....	0,2
Italie.....	0,15
Espagne.....	0,1

» Il y a au monde approximativement 9 500 000 postes téléphoniques et 34 340 577 km de fils répartis comme suit :

1^{er} janvier 1909.

	Postes.	Kilomètres de fils.
Amérique du Nord.....	6 833 386	23 029 538
Europe.....	2 431 815	10 574 806
Asie.....	70 738	300 630
Australie.....	67 010	164 126
Amérique du Sud.....	61 962	141 027

» Le Tableau ci-après classe les divers pays suivant le nombre de postes et le nombre de kilomètres de fils employés :

1^{er} janvier 1909.

	Postes.	Kilomètres de fils.
États-Unis.....	6 617 922	22 326 543
Allemagne.....	845 000	3 943 589
Angleterre.....	581 000	2 618 009

	Postes.	Kilomètres de fils.
Canada.....	200 000	643 720
France.....	197 200	1 142 474
Suède.....	167 200	322 889
Russie et Finlande.....	125 265	362 860
Danemark.....	82 000	290 317
Autriche.....	80 300	439 371
Suisse.....	69 800	314 521
Norvège.....	54 200	174 448
Italie.....	51 500	157 470
Pays-Bas.....	49 900	176 668
Japon et Formose.....	47 624	225 453
Hongrie.....	45 600	278 859
Belgique.....	38 800	187 322
Argentine.....	30 600	48 238
Espagne.....	21 300	58 272
Mexique.....	12 966	47 860

» Le capital total investi dans le monde, pour les téléphones, peut être évalué à 6 978 400 000 fr, ce qui met chacun des 9 500 000 postes à 734 fr.

» Pendant l'année 1908, on estime le nombre des conversations téléphoniques :

Aux États-Unis, à.....	11 373 000 000
Ailleurs, à.....	5 104 000 000
	16 477 000 000

» La moyenne du nombre des communications pour chacun des 9 500 000 postes est donc de 1734 par an, soit d'environ 5 par jour.

» Le nombre des personnes employées au service des téléphones peut être estimé :

Aux États-Unis, à.....	150 000
Ailleurs, à.....	100 000
	250 000

» *De l'utilité des statistiques.* — Sans statistiques exactes il n'est pas possible d'étudier un projet téléphonique répondant aux besoins réels de la localité ou du pays envisagé. Ces statistiques sont aussi indispensables à l'ingénieur téléphoniste qu'une bonne fondation est indispensable à l'architecte pour ériger sa bâtisse. Sans statistiques on risque de faire des erreurs qui compromettent tout le suc-

cès de l'entreprise. On ne saurait trop insister sur l'utilité des statistiques et l'on ne saurait prendre assez de soin pour en assurer la plus grande exactitude.

» *Étalons de transmission de la voix.* — Lorsqu'on projette un réseau téléphonique, la première étude à faire est celle du territoire dans son ensemble, afin de décider quel sera le degré de transmission de la voix entre diverses villes éloignées et dans le service international. De nos jours, on mesure la force de transmission de la voix en longueurs de câble étalon, ce qui est, pour tous les cas, une mesure absolue et définitive. Après avoir décidé quel sera l'étalon de transmission, il faudra décider quelle devra être la force de transmission dans le service local de chaque ville, et enfin, quelle devra être la force de transmission dans la ville elle-même, entre les abonnés les plus éloignés les uns des autres. Cette question de l'étalon de transmission a une portée immédiate sur le diamètre des fils, le nombre de bobines Pupin, etc., et il faut qu'elle soit fixée dès le début afin d'éviter un gaspillage de cuivre.

» *Bureaux centraux téléphoniques.* — La force de transmission de la voix arrêtée, il faut, pour être sûr de l'obtenir, non seulement adopter le bon système, mais encore se servir uniformément du même appareil partout. C'est là le secret de l'excellente transmission téléphonique en Amérique où, journellement, l'abonné se sert de son téléphone pour causer à des distances de 1000 à 2000 km. Ensuite, il faudra décider quel système conviendra le mieux pour les très grandes villes et lequel pour les villes moyennes. Tous les ingénieurs sont d'accord pour reconnaître la supériorité du système à batterie centrale quant à l'économie, sa facilité d'extension, son service rapide, son haut degré de transmission et son maniement facile pour *tous*. Dans certaines très petites villes, il est encore préférable de se servir du système à magnéto.

» *Tarifs.* — Il n'est peut-être pas de question plus embarrassante que celle des tarifs. Il faut les fixer de façon, non seulement à tirer un bénéfice raisonnable du capital engagé, mais encore de façon à rendre le téléphone accessible à *toutes* les classes de la société, aux

plus riches comme aux plus pauvres, aux grandes maisons de commerce comme aux simples familles bourgeoises, afin qu'il s'introduise partout. Dans ce but il faut, au début, établir des tarifs pour les différentes classes de services, telles que lignes exclusives, lignes partagées, bureaux privés annexes, systèmes d'intercommunication, postes intermédiaires et postes extrêmes, boîtes perceptrices automatiques, etc. Toutefois, le service à conversation taxée étant de plus en plus en faveur, il est nécessaire d'en fixer le tarif avec prudence, afin d'assurer au téléphone un développement naturel et aisé. On a développé, en Amérique, la meilleure manière d'établir les tarifs, surtout en ce qui concerne les différentes classes de services, et ces tarifs, après de nombreuses années d'expérience, ont été appliqués avec succès. Il est de toute nécessité de bien fixer les tarifs dès le début, car il est difficile de faire des changements après coup et de rectifier des erreurs.

» *Protection contre l'incendie.* — On a étudié avec un soin tout spécial la question de protection contre l'incendie, et les compagnies d'assurance américaines regardent les Hôtels des téléphones comme aussi sûrs que n'importe quel autre bâtiment. Mais cela n'est rendu possible qu'en installant des protecteurs convenables, non seulement au bureau central, mais aussi chez l'abonné. L'incendie de Gutenberg, à Paris, ceux de Naples et de Turin, n'auraient peut-être pas éclaté, si l'on avait appliqué, dans ces bureaux, les nombreuses améliorations apportées aux protecteurs dans le cours de ces dernières années.

» *Études du projet fondamental.* — Dans chaque cas il est nécessaire, afin de tirer profit de l'élasticité dont il a été parlé et de permettre au téléphone de se développer naturellement à un minimum de frais, d'étudier avec soin la ville, afin de déterminer le nombre de bureaux téléphoniques et leur situation. Partout où cette étude préliminaire a été omise, il se trouve que de grandes sommes d'argent sont littéralement perdues par la pose de câbles d'une longueur démesurée, de conduits inutiles, l'érection du local au mauvais endroit, ou la construction d'un nombre insuffisant de bureaux. En Amérique, on a fait de la question des bâtiments téléphoniques un champ d'études spécial.

» *Bâtiments.* — La meilleure situation pour l'Hôtel des téléphones une fois fixée, il faut déterminer en second lieu le genre de bâtiment. Bien souvent on n'a besoin que de louer un local, là surtout où le bureau central est de peu d'importance. Mais dans les endroits où le service est important, il est de toute nécessité de construire un bâtiment approprié à sa destination future. Jadis on y installait les appareils téléphoniques le mieux qu'on pouvait. De nos jours, on fait le contraire; on fixe d'abord l'arrangement exact des appareils ainsi que les dimensions et formes exactes des salles nécessaires, ensuite on construit un bâtiment approprié exactement aux meubles qu'il doit contenir. Le bâtiment est construit de façon à se prêter facilement à une extension future, si le besoin s'en fait sentir. Il est absolument à l'abri de l'incendie et il contient beaucoup d'organes qui, après une étude approfondie, ont été déclarés être d'absolue nécessité si l'on veut obtenir un rendement maximum avec un minimum de dépenses.

» *Bureaux.* — Chaque installation devrait faire l'objet d'une étude approfondie, afin que sa disposition permette une extension facile en prévoyant l'accroissement attendu pendant 3 à 5 ans. Afin d'éviter des dépenses inutiles, il est nécessaire, dans chaque cas, de bien considérer les dimensions à donner à un bureau par rapport au nombre immédiat d'abonnés. Il faut préciser, dans chaque cas, le nombre d'abonnés qu'une opératrice peut desservir, ce qui dépend des conditions locales ainsi que des tarifs et du mode de service adopté. Dans ce cas, un mauvais choix peut facilement faire doubler le coût d'un bureau. Il faut que le système qu'on adopte permette de donner facilement diverses espèces de service, non seulement ceux décrits au paragraphe des tarifs, mais encore des services spéciaux, tels, par exemple, comme en Amérique, celui des privilèges des télégraphes, des privilèges des longues distances, etc. Afin de réduire les frais d'entretien au minimum, il faut considérer, sous plusieurs aspects, la qualité des appareils installés. Il faut qu'ils soient d'un accès facile, que le montage en soit aisé, les années ne devront rien enlever à leur qualité, et, finalement, il faut surtout qu'ils aient subi l'épreuve de la pratique.

» *Administration.* — Le téléphone est de tous les services celui

où la proportion du public venant en contact intime avec les employés est le plus grand. Afin d'être certain d'éviter tout heurt dans ces rapports, il est indispensable de choisir des directeurs éprouvés. Il faut qu'ils puissent, d'une manière intelligente, traiter avec le public toutes les questions, telles que le mauvais fonctionnement d'un appareil, des tarifs dont on n'est pas satisfait, des taxes mal appliquées pour le service local ou interurbain, le manque d'attention dans le service de la part d'une opératrice ou d'un inspecteur, etc. Afin de rendre populaire le téléphone et de mettre en contact intime le public et son personnel, la *New York Telephone Co* s'est vue dans l'obligation de faire paraître dans les journaux des annonces exposant les problèmes du téléphone et indiquant ce que signifie *donner un service satisfaisant* au point de vue du public aussi bien qu'au point de vue de la Compagnie.

» *Téléphonistes et inspecteurs.* — Afin que le téléphone se répande de plus en plus, il faut qu'il soit manié par des opératrices expérimentées, bien surveillées et surtout bien disciplinées. Pour avoir de telles opératrices, on a trouvé qu'il était nécessaire de créer des écoles spéciales où, pendant 6 mois, on forme convenablement les opératrices avant de les faire entrer en fonctions. On a trouvé cette méthode bien plus économique que celle consistant à former au petit bonheur des opératrices en les mêlant, dans les bureaux, avec les opérations régulières. Pour que ce travail d'entraînement soit efficace, on a inventé une méthode spéciale d'enseignement.

» Afin d'être certain que les dérangements des appareils soient promptement et efficacement relevés, il est nécessaire d'avoir une équipe de bons inspecteurs pour l'entretien du bureau et des postes d'abonnés. Il faut les exercer dans le maniement d'appareils délicats. Il est essentiel, pour que l'usage du téléphone se répande, que les appareils fonctionnent bien et, par suite, qu'ils soient bien entretenus.

» *Construction intérieure.* — Les constructions extérieures, y compris les bâtiments, les fils aériens, poteaux, câbles et conduites des rues, absorbant au moins 80 pour 100 du capital engagé, cette question nécessite une étude approfondie afin d'être sûr d'employer

le minimum de câbles et fils nécessaires. Dans le projet fondamental, on détermine exactement la situation de chaque conduite ainsi que le nombre de conduites à poser. Par des études spéciales, on détermine s'il est plus économique, dans certaines rues, de poser des câbles le long des maisons, ou de poser des fils sur des poteaux. Enfin, la question de relier les têtes de câble aux postes d'abonnés doit être résolue spécialement pour chaque ville. En général, une des diverses méthodes de distribution employées en Amérique et en Angleterre donne entière satisfaction, mais cette question aussi doit être examinée avec soin.

» Il suffit de signaler la prépondérance énorme du capital engagé dans la construction extérieure, pour démontrer quelle fausse économie est réalisée par ceux qui lésinent sur la qualité des appareils composant les bureaux centraux et les postes des abonnés. La mauvaise qualité d'un seul de ces organes peut compromettre le bon fonctionnement du réseau entier ; ainsi, par exemple, quelle serait la valeur pratique d'un réseau ayant des lignes et des câbles parfaits, si seulement le transmetteur du poste de l'abonné est de qualité inférieure ?

» *Postes d'abonnés.* — Il faut que le poste d'abonné soit pourvu de récepteurs et de transmetteurs convenables, afin d'atteindre l'étalon de transmission de la voix déjà mentionné. Il faut que l'appareil soit construit de telle façon que toute personne, si peu intelligente soit-elle, puisse facilement le manier. Il faut qu'il soit approprié aux diverses espèces de services mentionnées sous la rubrique des tarifs. On a fait des bureaux privés annexes le sujet d'une étude spéciale et l'on a établi des types qui, tout en permettant la transmission à longue distance, sont, en même temps, d'un fonctionnement facile. Il faut former des inspecteurs qui vérifient régulièrement l'état des postes d'abonnés et qui puissent réparer immédiatement toute détérioration. Une méthode spéciale doit être adoptée dans cette voie, afin d'être sûr, d'un côté, que tous les postes donnent le meilleur fonctionnement possible et, d'un autre côté, que le nombre d'inspecteurs employés à ce travail ne soit pas exagéré.

» *Longue distance.* — Il s'est formé, en Amérique, un corps spécial

d'experts qui consacrent leur temps exclusivement aux problèmes de la transmission à longue distance. Abstraction faite de la question de la construction convenable qu'il faut adopter, il est nécessaire de déterminer les dimensions du fil qu'il faut employer, et le meilleur moyen d'introduire la bobine Pupin qui est maintenant très répandue et qui réalise de grandes économies en fil de cuivre. De plus, il faut adopter des systèmes appropriés qui permettront plus tard l'établissement de circuits téléphoniques combinés ou de circuits de télégraphie et de téléphonie simultanés, ou enfin l'établissement de fils de conversations de service, simples ou utilisables dans les deux sens, afin d'être en mesure de faire face à l'accroissement du trafic, dès que cet accroissement aura lieu.

» Nous n'avons fait qu'indiquer, à grands traits et d'une manière générale, ce que c'est que l'exploitation du service téléphonique basé sur des principes commerciaux, mais, en même temps, à des tarifs assez bas pour attirer *toutes* les classes de la société, et ce que signifient ces mots : *faire que le téléphone devienne aussi indispensable au développement d'un pays que le chemin de fer et la poste*. Le problème du téléphone est en tous points différent du problème du télégraphe, et il est suffisamment important et spécial pour être géré par une administration séparée.

» Commander une installation n'est qu'un début, un simple détail dans le projet général. Pour que la situation soit exploitée efficacement, il faut qu'elle soit établie sur la base la plus large possible. Il faut à l'avance considérer avec soin chaque détail du problème. Il faut envisager avec soin le développement possible d'un côté quelconque du problème et, enfin, il faut établir avec soin et à l'avance toute la série des développements possibles afin d'éviter des surprises de toutes sortes. Quel que soit l'endroit où se produit ce développement, et pratiquement dans tous les pays, il n'est maintenant nécessaire que d'étudier le téléphone là où il s'est le mieux développé, soit aux États-Unis, soit en Grande-Bretagne, et de tracer ensuite un projet permettant un développement à peu près pareil. De cette manière, on est sûr d'éviter des erreurs dès le début.

» L'expérience a prouvé qu'en téléphonie on ne peut arriver à un résultat satisfaisant qu'en confiant l'étude des installations à des

experts mûrement formés par la pratique et possédant toute la compétence nécessaire pour mener à bien des entreprises téléphoniques. Ces entreprises sont très compliquées et de la plus haute importance, car elles ont une répercussion directe sur la prospérité du pays entier et sur son développement commercial et industriel.

» Pour que le téléphone soit un succès, trois choses sont indispensables. Il faut : 1° s'assurer, dans tous les cas, que les tarifs soient convenablement établis ; 2° que, sous tous les rapports, le service soit *rapide, exact et sûr* ; et 3° que l'appareil fonctionne avec une absolue sûreté et un maximum d'efficacité. La seule manière d'éviter des erreurs dans l'une ou l'autre de ces voies, c'est d'éviter toute espèce d'expérience et de n'adopter que ce qui, dans d'autres pays, a fait ses preuves dans la pratique.

» *L'autocommutateur.* — Dans l'art de la téléphonie, qui n'est que de la science appliquée, il faut toujours garder l'esprit ouvert et se méfier des préjugés pour ou contre toute innovation comme, par exemple, celle de l'autocommutateur.

» La prudence la plus élémentaire consiste surtout à ne pas faire une expérience sur une grande échelle.

» L'autocommutateur est une innovation, mais une innovation qui date déjà d'un quart de siècle environ tout en restant encore à l'état d'expérience, malgré les efforts assidus de beaucoup d'ingénieurs compétents et enthousiastes. Depuis un quart de siècle, on fait des tâtonnements dans le but de remplacer les téléphonistes par un mécanisme automatique. Il faut avouer que l'idée est très séduisante et que l'analogie des autres sciences appliquées encourage les inventeurs à persévérer dans cette voie. Cependant, il faut reconnaître, en tenant compte des résultats pratiques exacts connus et en basant les calculs sur toutes les données disponibles, que l'autocommutateur n'est pas encore arrivé à justifier la suppression du personnel. Le calcul démontre, en effet, que la complication mécanique inhérente au système se traduit en des frais d'entretien et de réparation à un tel degré que les résultats financiers penchent encore en faveur du commutateur manuel.

» Depuis un quart de siècle qu'on installe des autocommutateurs, il est rare d'en trouver deux du même type : chaque instal-

lation diffère de celle qui la précède. Cependant, celui qui nierait la possibilité d'arriver au succès serait très hardi, et nous sommes heureux de noter que les progrès des dernières années sont devenus plus rapides.

» L'autocommutateur présente des problèmes excessivement difficiles, et il contient jusqu'à présent certains défauts de principe capables d'empêcher son application aux très grands réseaux. En effet, dans son état de développement actuel, il ne se prête pas bien à certains services importants d'un grand réseau, tels que la taxe par conversation, l'emploi des lignes partagées, les communications interurbaines, les bureaux privés annexes, etc. Par ce manque de flexibilité, on a calculé que l'application de l'autocommutateur au réseau de New-York n'économiserait que 20 pour 100 des téléphonistes. Dans les petits réseaux, au contraire, les circonstances se prêtent mieux à son application et il est très possible que nous verrons, dans quelques années, l'autocommutateur appliqué avec succès aux réseaux de province à bureau central unique où l'abonnement forfaitaire peut être maintenu et où le service interurbain joue un rôle peu important.

» Malgré tous les efforts des ingénieurs et toute la propagande des inventeurs, on constate que, même aux États-Unis, son pays d'origine, les abonnés reliés aux stations automatiques ne dépassent actuellement pas 1 pour 100 du total des abonnés du pays. En Europe, le pourcentage est encore petit, mais certaines administrations favorisent l'autocommutateur dans le but de se débarrasser des téléphonistes, à cause des difficultés inhérentes à l'augmentation du personnel ayant droit à tous les avantages d'un service d'État. Mais les difficultés rencontrées dans cette voie sont suffisamment indiquées par le fait que l'Administration des Télégraphes, en Autriche, qui cherchait à appliquer l'autocommutateur dans la mesure la plus large possible et qui comptait mettre en service en province, il y a 6 mois, quatre bureaux centraux automatiques, n'a pas encore pu réaliser son projet, et, d'après toutes les indications, l'ouverture aura lieu avec au moins un an de retard, et peut-être même davantage.

» A titre d'exemple, pour mettre en évidence la prudence qu'il importe d'apporter à l'adoption d'un système autocommutateur,

nous signalons en passant la faillite toute récente de la *Colombus Automatic Telephone Company*, au capital de 676 000 fr, qui exploitait depuis 1903, à Colombus, dans l'État de Géorgie (États-Unis), un autocommutateur équipé pour 900 abonnés environ.

PROJECTIONS LUMINEUSES DE 53 CLICHES PHOTOGRAPHIQUES.
MONTREES A LA CONFERENCE DU 2 JUIN 1909.

» A. Série de quatorze clichés montrant les phases successives des travaux pour le montage d'un multiple de 10 000 abonnés en batterie centrale, au quatrième étage de Gutenberg.

» B. Série de deux clichés montrant les travaux de transformation en batterie centrale exécutés au troisième étage de Gutenberg, où se trouvait un multiple de 9000 abonnés.

» C. Série de quatorze clichés relatifs à l'incendie de Gutenberg.

» D. Série de quinze clichés relatifs à la réorganisation du service. — Baraquement provisoire, vues extérieures et intérieures. — Phases successives du montage du multiple provisoire américain de 10 000 abonnés de la Société de Matériel téléphonique G. Aboilard et C^{ie}.

» E. Série de quatre clichés. — Souvenir de la dernière grève des téléphonistes le 12 mars 1909.

» F. Série de quatre clichés. — Vue du plus vaste bureau à batterie centrale intégrale actuellement connu dans le monde entier, celui de Budapest, et vues du multiple de Bruxelles. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. André pour sa très intéressante Communication et pour la peine qu'il a prise de démontrer les avantages des nouvelles installations téléphoniques.

La séance est levée à 10^h 40^m du soir.

DISCUSSION DE LA COMMUNICATION DE M. J. BOURDEL (1).

RÉPONSE AUX OBJECTIONS DE MM. LEGOUZ ET PERRET.

M. J. BOURDEL. — « Dans les observations présentées lors de notre dernière séance au sujet de ma Communication sur la traction par courant continu à intensité constante, M. Legouez a bien voulu préciser qu'il ne se faisait l'avocat d'aucun autre système de traction ; il s'est donc fait le ministère public de celui que je vous ai présenté, et cela, j'en suis sûr, pour le plus grand intérêt de tous. »

» Continuant donc mon rôle de défenseur, je reprendrai brièvement la discussion des divers points faibles qu'il a bien voulu signaler, mais je le remercierai tout d'abord de l'aide que me donne son opinion autorisée au sujet des appareils automatiques employés dont la complication n'est effectivement qu'apparente. Sous la direction de notre éminent collègue, M. Mazen, j'ai participé moi-même à la mise en service en France des premiers trains équipés suivant les systèmes Sprague et Thomson-Houston (systèmes nettement distincts à cette époque, 1901) ; je n'ai donc aucune crainte au sujet du fonctionnement des appareils beaucoup plus simples prévus dans le système série. Je rappelle d'ailleurs que, par les combinaisons adoptées, les ruptures se produisent lorsqu'elles sont inoffensives ; les appareils qui fonctionnent automatiquement sont installés à poste fixe, sont facilement visitables et, par suite, d'un entretien commode.

» L'objection au sujet des lignes aériennes paraît très importante et je l'attendais d'autant plus, qu'elle semble être le principal motif (abstraction faite de la question vitesse des moteurs) de l'abandon, peut-être momentanée, de la traction électrique par courant triphasé. J'ai nettement signalé, dans la Communication principale, qu'avec le système série, l'équipement était à effectuer seulement pour les voies principales des grandes gares et dans les petites gares pour les demi-lunes de garage, en outre de la voie principale ; dans ces

(1) Cette Communication n'a pu être lue en séance, à cause de l'heure trop avancée.

conditions, les complications, afférentes surtout aux croisements, sont réduites au minimum. Il ne faut pas croire d'ailleurs que, même avec le système monophasé à fil de contact unique, les dispositions des gares ne soient pas exemptes de complications sérieuses; je vous conseillerais à ce propos d'examiner le véritable réseau aérien qui existe dans la gare de Wettingen, établi il est vrai avec emploi de la suspension caténaire, dispositif intéressant mais bien coûteux, au sujet duquel M. Legouez a prononcé, à juste raison, le mot de *mode*.

» Répondant à la demande directe qui m'a été faite, j'indique rapidement les dispositions prévues comme les plus simples pour l'établissement de la ligne dans le système proposé.

» Je constate tout d'abord que M. Legouez ne conteste pas la possibilité technique d'une telle ligne; dans l'état actuel de la fabrication des isolants, il ne peut y avoir une difficulté quelconque à isoler deux conducteurs distincts distants de plus de 1 m, et entre lesquels la tension maximum ne dépassera pas 10000 volts; on pourrait même effectuer l'isolation seulement au moyen de simples baguettes de bois imprégnées dans l'huile, qui, d'après les expériences de la Mure, supportent parfaitement 50000 volts.

» L'emploi de la porcelaine a été prévu pour une construction tout à fait sérieuse de la ligne; on pourrait évidemment adopter l'ambroïne qui donnerait une économie des frais d'installation.

» Je n'ai pas cru devoir insister sur la construction de la ligne de contact à deux conducteurs, et cela d'autant moins que les chemins de fer Italiens, qui ont l'expérience acquise aux lignes de la Valteline, n'auraient pas adopté de nouveau le système triphasé pour les lignes autour de Gènes dont l'électrification est en cours.

» On peut d'ailleurs voir au chemin de fer de la Mure une ligne aérienne à deux fils parallèles sur un tracé plutôt sinueux (succession de courbes de 100 m de rayon); l'entretien de cette ligne est nul depuis qu'on y a mis des poteaux sérieux (béton armé).

» A ce sujet, je ferai remarquer, puisque M. Legouez a parlé d'entretien, que l'entretien d'une ligne de contact dépend essentiellement, je dirai même exclusivement, de la façon dont elle est construite. Si elle a été établie avec de gros fils et des poteaux appropriés, l'entretien en est à peu près nul, comme en font foi la ligne de la Mure, citée plus haut, où il n'y a pas eu de rupture de fil

depuis sa mise en service, il y a six ans; ou aussi la ligne Genève Veyrier établie en 12 mm de diamètre.

» Si l'on passe, au contraire, aux lignes avec fil ordinaire de 8 mm de diamètre, l'entretien est considérable. Le petit fil, au passage de chaque appareil de prise de courant, s'infléchit légèrement, et ces flexions répétées conduisent à la rupture au bout d'un temps plus ou moins long.

» Au point de vue des frais d'installation, la ligne aérienne à double fil exige des poteaux un peu plus forts que dans le cas d'un seul fil, ce qui, pour des poteaux en ciment armé par exemple, ne représente qu'une augmentation de prix insignifiante; évidemment elle exige un conducteur et un isolateur de plus par poteau; mais, par contre, les connexions entre rails disparaissent, de même que les câbles de retour, connexions en cuivre nu, etc., qu'on noie dans le ballast.

» Le devis comparatif d'une ligne à un ou deux fils peut d'ailleurs s'établir comme suit : en supposant une ligne avec poteaux ordinaires et conducteurs de 95 mm² de section :

	Ligne à un seul fil.	Ligne à deux fils.
Poteaux, pose comprise	35,00	40,00
Bras avec ancrage.....	40,00	45,00
Supports d'isolateurs de ligne.....	7,50	15,00
Isolateurs de ligne.....	3,50	7,00
Pinces de suspension.....	3,00	6,00
Câbles de suspension.....	2,00	3,00
Isolateurs d'arrêt du câble de suspension.....	5,00	5,00
Par poteau.....	96,00	121,00

» Avec une distance entre poteaux de 30 m, soit 33 poteaux au kilomètre, on obtient :

Poteaux par kilomètre.....	3 200,00	4 000,00
Fils de contact de 11 mm de diamètre, à raie- nure pesant 855 kg + 5 pour 100 pour flèche, 900 kg à 2,50 fr.....	2 250,00	4 500,00
Montage des lignes	1 000,00	2 000,00
Éclissage des rails.....	1 000,00	»
Total par kilomètre.....	7 450,00	10 500,00

» La ligne à deux fils coûte donc environ 40 pour 100 plus cher

que celle à un seul fil, en admettant celle-ci établie dans les meilleures conditions possibles, car, dès qu'il faut prévoir des poteaux métalliques ou mettre un câble de retour ou des appareils quelconques (transformateurs) pour réduire la perte dans les rails, la proportion en faveur de la ligne à un fil diminue très rapidement.

» A titre documentaire, je rappellerai que la maison Brown-Boveri compte que la ligne à double fil coûte seulement 25 pour 100 plus cher que la ligne à simple fil.

» Quant aux frais d'entretien d'une ligne établie avec soin dans des conditions aussi simples que celles prévues, j'ai déjà montré, par des exemples de lignes à double fil existantes, qu'ils sont à peu près nuls si la ligne a été construite sérieusement.

» Je rappelle, en outre, combien l'absence de tout circuit normalement à la terre est avantageuse pour l'exploitation des chemins de fer, surtout en traction mixte comme ce sera le cas, d'une manière presque générale, dans les conditions actuelles de l'application de la traction électrique sur les grandes voies ferrées.

» La deuxième observation principale présentée par M. Legouez est relative à l'établissement des moteurs; là encore la complication est plus apparente que réelle; en ce qui concerne l'axe vertical, cette disposition a été déjà appliquée avec succès par plusieurs constructeurs; aussi je ne crois très sincèrement pas qu'il y ait unanimité pour en déclarer la réalisation difficile. L'établissement du moteur sur un plancher mobile ou non est une opération identique, du moment que le moteur est fixé d'une façon rigide sur ce plancher; la réalisation de l'accouplement électrique isolant est évidemment plus délicate, mais elle est envisagée sans aucune appréhension par des constructeurs sérieux.

» Je ferai remarquer, en outre, que la condition de l'isolation du moteur est avantageuse au point de vue de la construction de celui-ci, en permettant de l'établir comme un simple moteur à basse tension; mais il ne faut pas croire que cette isolation soit une condition *sine qua non* du système série. On peut très bien mettre le bâti des moteurs à la terre; il faudra seulement isoler les enroulements pour la haute tension, ce qui est très faisable, mais plus coûteux.

» Pour la sécurité du personnel, il n'y a dans la disposition proposée absolument rien de dangereux, même en isolant le moteur

comme je l'indiquais dans ma Communication. Le montage de l'appareillage se fait exactement comme sur une locomotive à courant alternatif à haute tension : tous les appareils sont soigneusement mis à la terre ; le moteur seul est isolé, placé dans un local spécial et protégé par une cage métallique mise à la terre comme on le fait pour les transformateurs placés sur les locomotives.

» On n'accède au local spécial du moteur que lorsque le courant est coupé au moyen d'appareils de sécurité ; que la carcasse du moteur soit ou non à la terre à ce moment, cela n'a aucune importance pour la sécurité du personnel et il serait d'ailleurs très facile, si c'était exigé, de faire une mise à la terre des parties métalliques, par la manœuvre même des portes après abaissement des archets.

» Il est à remarquer, en outre, qu'avec la disposition adoptée, il n'y a aucune câblerie sous le châssis, et que, par suite, la visite et le graissage des engrenages et des essieux peuvent être effectués par un personnel quelconque, sans aucun danger de contact accidentel.

» En ce qui concerne l'étude faite sur le trajet Montréjeau-Tarbes, je m'explique tout d'abord sur la simplification du tracé, simplification jugée un peu hardie par M. Legouez ; comme on peut le constater dans notre *Bulletin*, il a été substitué une rampe hypothétique de 26,7 mm continue sur une longueur de 12,500 km au lieu de la rampe de 33 mm sur 7,700 km et de diverses autres rampes plus faibles sur le reste de la section. Cette substitution a été faite d'une manière arbitraire, afin d'avoir une section de moins à calculer. En présence de l'objection faite, j'ai tenu à vérifier la pente moyenne du tronçon considéré et je l'ai trouvée de 27,5 mm, valeur peu différente de celle adoptée ; on peut s'assurer, en faisant les calculs, que cette simplification ne change guère la valeur absolue des résultats : d'ailleurs, dans l'étude comparative faite cette simplification existe pour les deux systèmes examinés.

» En ce qui concerne la vitesse adoptée pour la montée des trains sur la rampe de Capvern, cette vitesse, comme le fait très justement observer M. Legouez, ne coïncide pas avec celle du programme imposé par la Compagnie du Midi et qui est notablement plus élevée. Il y a à cela une raison majeure, c'est que l'étude que je vous ai développée a été faite avant l'apparition du programme du Midi et en prenant intentionnellement pour base le graphique *réel* des

trains actuels du service d'été sur cette ligne ; en agissant autrement, on aurait pu nous reprocher d'avoir établi un graphique spécial en vue de prouver la valeur de la récupération.

» Mais cela ne veut pas dire que les locomotives prévues ne puissent pas marcher plus vite, et, à ce sujet, elles soutiennent facilement la comparaison avec les locomotives d'essai demandées par la Compagnie du Midi à divers constructeurs, et qui seront bientôt éprouvées sur la ligne de Prades à Vernet-les-Bains (machines de 1200 à 1500 chevaux, comme le rappelle M. Legouez).

» La locomotive en continu série est capable, comme je l'ai indiqué dans la Communication, de marcher à la vitesse de 40 km à l'heure sur rampe de 33 mm, ce qui, avec la charge utile de 200 tonnes, exige 1800 chevaux ; si l'on porte la vitesse à 30 km à l'heure cela nécessitera, dans les mêmes conditions, 2200 à 2300 chevaux, ce qui est parfaitement réalisable dans le système série en augmentant légèrement chaque moteur.

» Voyons, au contraire, ce qui est prévu : l'*Allgemeine Electricitäts Gesellschaft* établit actuellement pour le Midi une locomotive monophasée répondant au programme suivant :

» 10000 volts ; vitesse 45 km à l'heure en marche normale ; deux moteurs Winter-Eichberg donnant 600 chevaux en marche normale et 800 chevaux pendant une heure, donc 1200 chevaux et au plus 1600 chevaux : toutefois la garantie ne porte que sur 1200 chevaux ; c'est donc loin de compte de la puissance nécessaire pour le service à 50 km à l'heure avec 200 tonnes, service qui exige 2200 chevaux que le système série peut réaliser et garantir ; on peut constater, en effet, qu'en augmentant la vitesse de marche du graphique actuel des trains, le graphique de consommation lui-même augmentera d'une façon à peu près proportionnelle et le calcul de la récupération ne variera guère.

» Enfin, la dernière objection de M. Legouez est relative à l'adaptation du système série sur le tronçon Montréjeau-Tarbes, où ce système n'est pas jugé à sa place ; cette question vise la zone d'application du système proposé et je me propose d'y revenir très prochainement. après avoir discuté les objections de M. Perret, qu'a bien voulu nous présenter M. Gourdeau.

» Si M. Legouez s'est efforcé de rester neutre quant à la discussion

comparative du système, M. Perret, au contraire, m'oppose le monophasé, si en faveur aujourd'hui, au moins par les nombreux projets dont on parle depuis longtemps et dont la réalisation, je l'espère, ne tardera plus guère .

» Tout d'abord je n'insiste pas sur la complication apparente des appareils de ligne, M. Legouez m'ayant suffisamment aidé au sujet des dispositions automatiques; mais je veux rappeler à M. Perret les nouvelles dispositions adoptées sur la ligne monophasée New-York-New-Haven. Cette ligne, dont M. Blakstone nous donne une description détaillée dans la *Revue électrique* du 30 avril dernier, « est (et je cite textuellement cet auteur) la première application » qui ait été réalisée de la traction par courant monophasé sur les » grandes lignes de chemins de fer; les quelques lignes d'Amérique » et d'Europe, équipées auparavant avec le courant monophasé, » n'étaient que des lignes interurbaines sur lesquelles le service » pouvait être fait par des voitures automotrices ou par de petites » locomotives ».

» Eh bien! sur cette ligne ainsi nettement définie par M. Blakstone, le courant n'existe normalement que dans la section où se trouve la locomotive, et les coupures s'effectuent par des interrupteurs automatiques fonctionnant sous 11000 volts. A l'extrémité de chaque section, la ligne de contact est double sur une certaine longueur pour permettre aux prises de courant d'établir le pont; et l'interrupteur automatique, placé en dérivation entre la ligne de contact et le feeder, coupe l'alimentation de la section déjà parcourue. Cette disposition, figurée au cours de l'article que j'ai rappelé, n'est pas d'une extrême simplicité, et l'établissement de la ligne de contact a été tellement onéreux que l'auteur dit textuellement « qu'elle a » coûté beaucoup plus qu'il n'était prévu dans le devis primitif », et que « la ligne de travail aérienne à haute tension de New-York- » New-Haven ne présente peut-être pas d'économie sensible de » premier établissement sur la ligne à troisième rail à moyenne » tension du New-York Central ».

» Je n'ai pas à commenter de telles constatations émanant d'une telle source.

» La difficulté des prises de courant sous ces tensions n'existe pas plus pour le système série que pour le système monophasé

à 10000 volts rappelé précédemment, ou pour celui à 15000 volts proposé pour le Loetschberg; ce n'est évidemment pas la présence du deuxième archet qui peut compliquer le problème.

» Au sujet de l'économie du système, M. Perret désire me voir tenir compte de la récupération dans les cas de la traction en monophasé; il est parfaitement exact que cette condition est imposée dans le programme remis aux constructeurs des locomotives à courant monophasé du Midi, que cette Compagnie a, d'ailleurs, non pas commandées d'une manière ferme, mais pourra seulement acquérir après essais satisfaisants.

» Si nous parlons récupération, celle-ci n'est pas possible avec le moteur monophasé série qui semblait jusqu'ici le meilleur pour les applications à la traction; M. Perret lui préfère le moteur à répulsion avec lequel, évidemment, la récupération n'est pas impossible; elle exigera toutefois des complications sérieuses et le rendement obtenu sera excessivement faible. Si l'on pense, en effet, qu'avec la traction série où la récupération est la base du système et est obtenue sans aucune complication par simple renversement des balais, le rendement n'est, comme nous l'avons montré, que de 62 pour 100, on a immédiatement une idée de la faible valeur qu'il atteindra avec le moteur à répulsion monophasé.

» En dehors de la perte en ligne constante sur la valeur de laquelle je me suis suffisamment étendu dans la Communication principale, M. Perret attribue aux moteurs eux-mêmes une cause importante de diminution de rendement du système, et il met en avant la constance de la perte ohmique et, par suite, sa valeur en pour 100 variant d'une manière inversement proportionnelle à la puissance. Ce fait est parfaitement exact, et, bien que la perte ohmique ait une valeur faible par rapport aux autres pertes dans le moteur (hystérésis, courants de Foucault), je donnerai toutefois quelques chiffres de cette perte seule, puisqu'elle a été mise en avant.

» Dans des moteurs série de 300 à 400 kilowatts, cette perte est à froid de 0,6 pour 100 dans l'induit et de 0,5 pour 100 dans les inducteurs: lorsque le moteur est à l'échauffement maximum, cette perte atteint 0,75 pour 100 dans l'induit et 0,6 pour 100 dans les inducteurs, soit, dans le cas le plus défavorable, 1,35 pour 100, ce

qui est loin de 7 pour 100, chiffre admis par M. Perret dans la discussion.

» Il est d'ailleurs évident qu'au lieu de séparer la perte ohmique il faut considérer la perte totale. Je rappelle à ce sujet que le moteur série à intensité constante présente cette particularité avantageuse d'avoir ses pôles de commutation confondus avec ses pôles principaux : cela donne une idée de l'excellence de la commutation et de la valeur élevée de son rendement. Voici d'ailleurs quelques chiffres relevés sur des moteurs existants et garantis par les constructeurs :

	Pour 100.
A pleine charge	95
A demi-charge.....	90
A quart de charge	78

» Les rendements d'un moteur à répulsion placé dans les mêmes conditions seront nettement inférieurs.

» Il est de plus évident qu'on ne peut comparer que des moteurs présentant le même échauffement industriel (c'est-à-dire au bout de *N* heures de travail) : or, le nombre de watts perdus par échauffement est proportionnel au volume du moteur. Comme le moteur série continu est moins volumineux que le moteur monophasé (de même puissance et calculé pour le même échauffement), le nombre de watts perdus par échauffement sera toujours plus faible pour le continu que pour l'alternatif.

» A remarquer d'ailleurs que, dans sa dernière locomotive monophasée, la Société d'Oerlikon a été obligée d'installer de puissants ventilateurs pour combattre l'échauffement anormal et que la ventilation forcée est aussi de nécessité constante dans les locomotives de New-York-New-Haven.

» La question de la puissance nécessaire au démarrage ou sur fortes déclivités par rapport à la puissance moyenne nécessaire en marche normale sur profil facile, puissance qui est évidemment très inférieure à la précédente, remettrait en jeu, si on la discutait entièrement, l'importante question bien connue de la définition de la puissance du moteur de traction. Je n'insiste donc pas à ce sujet ; je ferai remarquer qu'au point de vue des à-coups, le moteur continu série est en meilleure posture que le moteur monophasé. Pour toutes les différentes raisons qui précèdent, il ne peut absolument être

question en faveur du monophasé d'une différence de rendement que M. Perret chiffre, un peu arbitrairement d'ailleurs, à 20 pour 100.

» Quant aux dispositions suggérées pour améliorer le système série par le couplage série-parallèle des moteurs ou le shuntage des inducteurs, ces solutions ne seraient absolument pas à leur place ici; elles sont le monopole d'autres systèmes bien connus et leur complication ne peut en rien convenir à celui-ci.

» Il y a d'ailleurs une solution beaucoup plus évidente qui s'impose lorsque la même locomotive doit développer des puissances nettement différentes, comme dans le cas rappelé d'ailleurs par M. Legouez, où la traction électrique motivée par l'existence d'une section à fortes déclivités doit, pour des raisons d'exploitation, être maintenue sur un profil beaucoup plus facile; c'est tout simplement réduire le nombre des moteurs en service de manière à faire travailler ceux restants au voisinage de leur rendement maximum. On mettra ainsi hors circuit un, deux ou même trois moteurs sur les quatre de la locomotive; les moteurs série peuvent, en effet, tourner à vide sans occasionner aucune résistance, l'induit et les inducteurs étant mis en court-circuit. Cette solution est autrement simple que celle qui consiste à mettre en traction monophasée une locomotive de renfort pour les parcours difficiles (*voir* à ce sujet l'article *rap-* • *pelé* précédemment relatif à la ligne de New-York-New-Haven; *voir* aussi les offres de certains constructeurs pour la ligne du Loetschberg, une locomotive pour un train sur rampe de 15 mm, deux locomotives pour un train sur rampe de 27 mm).

» Enfin, pour contre-balancer l'économie qui existe en faveur du système série du fait de la suppression des transformateurs et des sous-stations, M. Perret envisage l'emploi, pour la traction, de moteurs monophasés à répulsion à alimentation directe en haute tension. C'est là un point absolument nouveau de la question et je ne puis évidemment en commencer la discussion; elle appartient pour le moment uniquement aux constructeurs.

» Pour nous, ingénieurs de traction, il n'a été mis jusqu'ici à notre disposition, même dans les projets actuellement en réalisation, que des moteurs monophasés de traction fonctionnant sous des tensions relativement basses qui nécessitent toujours l'insertion de transformateurs entre eux et la ligne de contact. Je crois très utile,

dans l'intérêt général, de prier M. Perret de s'étendre sur les moteurs qu'il envisage dans les dernières phrases de sa discussion : moteurs de traction monophasés à répulsion alimentés directement sous la tension de la ligne de contact ; il trouvera certainement dans ce sujet la matière d'une Communication fort intéressante. Je ne crois pas toutefois que le décalage des balais puisse être effectué dans ces moteurs sans une forte production d'étincelles ; quant à la récupération, qui ne pourra exister qu'avec des dispositifs un peu compliqués, j'ai montré précédemment par des chiffres combien son rendement doit être faible. Quoi qu'il en soit, nous nous trouvons en présence d'un système nouveau dont la mise au point s'impose et dont l'adaptation à un service de traction déterminé ne peut encore être discutée.

» Et, au sujet de l'adaptation des divers systèmes de traction à un service déterminé, je reviens à la dernière objection de M. Legouez, celle où il me fait le léger grief d'avoir choisi pour un système encore neuf un des problèmes les plus difficiles qui aient été posés à l'industrie électrique. Qu'il soit bien persuadé que c'est en toute connaissance de cause et non par un simple caprice d'inventeurs que M. Potterat et moi avons abordé le problème vraiment difficile du cas général de la traction électrique sur une grande ligne de chemin de fer.

» L'examen préalable de l'électrification d'une ligne plus modeste à forte déclivité, comme il me conseille de le faire pour pouvoir, surtout au point de vue économique, chiffrer la comparaison du monophasé et du continu série est évidemment beaucoup plus simple ; la réalisation d'une telle ligne est plus facile, les tensions plus faibles ne nécessitent pas l'isolement des moteurs ; une foule de simplifications apparaissent, c'est entendu ; mais, permettez-moi de le dire, ce n'est pas une solution du problème de la traction électrique des chemins de fer.

» C'est la réalisation d'une de ces nombreuses lignes secondaires que nous voyons surgir partout et où, pour des raisons diverses souvent peu techniques, nous voyons appliquer tel ou tel système, nettement différent de celui de la ligne voisine, ce qui entraîne une spécialisation absolue du matériel. Il n'y a dans cette manière de faire aucune homogénéité, aucune orientation nette, et le bruit que l'on fait depuis quelques années pour l'application du système

monophasé à tous les cas qui se présentent est un des signes de cette situation de recherches continuelles dont les grandes lignes de chemins de fer n'ont que fort peu profité actuellement ; certaines compagnies anglaises même ont conservé la traction à vapeur, car elles n'ont pas vu obtenir les résultats espérés et annoncés depuis longtemps. On peut voir, au sujet de l'état de la question de la traction monophasée, la Note de M. Rougé parue à la suite des polémiques de M. Sprague au sujet de la comparaison des locomotives électriques du New-York Central Railway et du New-York-New-Haven. Dans cet article daté du 15 novembre 1907, M. Rougé reflète bien l'impression des ingénieurs de traction à ce moment, en disant au sujet du moteur monophasé de traction :

« Après des efforts aussi considérables, la question devrait être
» aujourd'hui entièrement résolue au moins dans ses grandes lignes
» et ne plus comporter que des difficultés ou des incertitudes de
» détail. On pense généralement, au moins en Europe, qu'il en est
» ainsi. »

» Depuis cette époque, où en sommes-nous au point de vue traction des grands chemins de fer ? Uniquement, comme application un peu importante, à l'extension de l'électrification en monophasé de la ligne du New-York-New-Haven, qui a des locomotives de 800 à 1000 chevaux remorquant de fortes charges sur faibles déclivités et dont l'équipement est loin d'être simple (en raison, il est vrai, de la nécessité du fonctionnement des mêmes moteurs sur monophasé ou sur continu).

» Au sujet de ces locomotives, je me permettrai d'emprunter encore quelques lignes à l'article de M. Gladstone :

« Il est exact, dit-il, qu'on n'a pu, sur les locomotives mono-
» phasées du New-York-New-Haven, obtenir que tout juste avec
» quatre moteurs une puissance totale de 900 à 1000 chevaux en
» utilisant toute la place disponible sous le châssis et ayant recours
» à l'artifice de la ventilation forcée, ce qui oblige à faire usage de
» deux locomotives accouplées quand on veut remorquer des trains
» lourds à grande vitesse ; tandis que, sur les locomotives continues
» à quatre moteurs et à ventilation naturelle du New-York Central,
» on est arrivé à la puissance de 2200 chevaux, qui permet de
» remorquer 500 tonnes à la vitesse de 96 km à l'heure à l'aide

» d'une seule machine. Mais il faut remarquer qu'on arrivera probablement (par exemple avec le type à répulsion compensé) à établir des moteurs monophasés à rendement meilleur et à encombrement moindre que ceux type série compensé (déjà un peu ancien) employés sur les locomotives en question. »

» La dernière phrase nous ramène à des idées que M. Perret nous développera bientôt, j'en suis sûr ; mais que dire des appréciations relatives à la seule grande installation existante de traction monophasée ?

» A titre documentaire, je parlerai de la petite ligne Seebach-Wettingen qui a été citée partout depuis plusieurs années au sujet de la traction monophasée ; pour en connaître les résultats d'exploitation au point de vue commercial, il suffit de lire la feuille fédérale Suisse donnant le compte rendu des Chemins de fer Fédéraux pour l'année 1908. Ce document éminemment officiel s'exprime ainsi (Chap. D, § 6, p. 647) :

« La fabrique de machines d'OErlikon nous a déclaré qu'elle n'avait pas l'intention de continuer l'essai de traction électrique sur la ligne Seebach-Wettingen, à l'expiration de la première année d'exploitation, qui s'achevait le 30 novembre 1908, mais qu'elle était prête, en revanche, à vendre aux Chemins de fer Fédéraux les installations et les locomotives servant à la traction électrique. Au cours des négociations qui ont eu lieu à ce sujet, la fabrique de machines d'OErlikon se déclara disposée à se charger encore provisoirement de l'exploitation jusqu'au milieu de janvier 1909. La question de la reprise des installations par les Chemins de fer Fédéraux est à l'étude, et des négociations ont été engagées sur ce point. »

» Voici quelques explications complémentaires : La décision de la Société d'OErlikon est motivée par son désir de ne plus travailler à perte : cette Société touchait 0,60 fr par train-kilomètre, tandis que la traction électrique lui coûtait environ deux fois plus cher. L'exploitation électrique de la ligne Seebach-Wettingen va être désormais assurée de la façon suivante : les Chemins de fer Fédéraux prennent en main l'exploitation électrique et paieront à la Société d'OErlikon pour location des installations et de la force motrice 0,90 fr par train-kilomètre.

» On voit donc par cette solution que les Chemins de fer Fédéraux n'ont pas voulu acheter définitivement l'installation comme ils l'ont fait pour la traction triphasée du Simplon : ils semblent donc insuffisamment renseignés sur les résultats du système.

» Passons maintenant aux projets : la Compagnie du Midi équipe un tronçon d'essai sur la ligne aboutissant à Vernet-les-Bains. Elle a remis à plusieurs constructeurs un programme et je vous ai donné une idée d'une des locomotives proposées ne dépassant pas 1600 chevaux (1200 garantis). Ces locomotives ne seront pas acceptées sans essais sérieux (condition *sine qua non*), et, en outre, la confiance de la Compagnie du Midi dans le moteur monophasé de traction n'est pas absolue, puisque, suivant en cela l'exemple de sa voisine, la Compagnie P.-L.-M., elle prévoit l'essai simultané sur le même tronçon d'une locomotive à redresseur Auvert-Ferrand (prise de courant en monophasé, moteurs en continu).

» Et encore le cas du Midi n'est pas le cas absolument général de la traction, tel que le comprennent les services d'exploitation des chemins de fer ; les sections où la traction électrique est essayée ne sont pas de trafic international.

» Continuant la revue des grandes études en cours, nous passons à la traction projetée pour la ligne du Loetschberg, ligne qui présente elle-même toutes les caractéristiques du problème général :

» Parcours accidenté ; rampes de 27 pour 1000 ; courbes de 300 m ; traversée d'un long souterrain (14,500 km), et trafic international, c'est-à-dire, pour la machine, obligation de la remorque de véhicules de toutes provenances sans aucune spécialisation possible.

» Dans ce cas général, et bien que, comme vous avez pu le constater par le Rapport de M. Tissot à Marseille, la Commission Suisse soit nettement orientée vers le système monophasé, la Compagnie exploitante, qui a pour ingénieur-conseil l'un des membres mêmes de cette Commission, n'a pas traité directement encore pour la traction de sa ligne. Elle prépare un tronçon d'essai sur une ligne existante (Spiez-Frutigen) et y essayera deux locomotives de deux provenances différentes : une de l'A. E. G. de 1600 chevaux en deux moteurs de 800 chevaux ; une de Siemens-Schuckert-OErlikon de 2000 chevaux, en deux moteurs de 1000 chevaux qui seront les moteurs monophasés à collecteurs les plus puissants construits.

» Mais tout ceci est en période de réalisation et ne peut être encore montré en exploitation réelle; il convient donc d'en attendre les résultats avant d'être optimiste en faveur de l'application générale du système monophasé. Les résultats de la ligne de plaine américaine N.-Y.-N.-H. ont donné lieu aux remarques que je vous ai citées; quels seront les résultats économiques en lignes de montagne? Comment se comporteront les gros moteurs annoncés? Ce sont des choses difficiles à prévoir, car, en exploitation de chemins de fer, il existe de tous autres coefficients qu'en laboratoire ou sur plate-forme d'essais, et la commodité et la simplicité d'emploi font quelquefois renoncer à des dispositions théoriquement excellentes.

» Le système que je vous ai présenté n'a pas la prétention d'être un système universel; son application intéressante est celle à faire pour les grandes lignes à grand trafic et à fortes déclivités; peut-être pour les raisons précédentes de commodité d'exploitation pourra-t-il être avantageusement maintenu pour les sections de plaine, mais ce n'est pas son but, comme je l'ai indiqué à ma première Communication.

» Me rappelant donc au grand problème choisi d'ailleurs de plein gré, M. Legouez me demande ce que deviendrait notre système si, au lieu de la réalisation du Montréjeau-Tarbes tel que je l'ai montré, j'avais à satisfaire au programme du Midi qui prévoit une vitesse nettement supérieure.

» La réponse est peut-être moins difficile à faire qu'on ne pense; car la grave question est évidemment la réalisation de locomotives très puissantes (voisines de 2000 chevaux comme je l'ai indiqué) et, par suite, la construction de moteurs importants.

» Eh bien! il est facile de voir fonctionner à Lyon, à la station de la rue d'Alsace, huit moteurs de 600 kilowatts à courant continu à intensité constante fonctionnant en série avec 7500 à 8000 volts de tension aux bornes de chacun; c'est plus qu'il n'en faut pour l'application prévue à notre cas.

» Nous n'avons donc pas à créer de type de moteur, mais à l'adapter aux conditions spéciales de la traction, et voilà l'une des principales raisons qui nous ont conduits à attaquer le problème dans toute son ampleur : la réalisation de la puissante locomotive électrique.

» Je maintiens donc qu'en l'état actuel de la question, le système continu à intensité constante peut facilement entrer en concurrence avec ceux proposés pour les lignes importantes que je vous ai rappelées et sans exclure absolument son application à quelques cas spéciaux de chemins de fer secondaires : ce n'est qu'en traction de grands trains que j'envisage sa réalisation, avec l'espoir prochain d'y faire constater ses avantages de sécurité et de simplicité.

» Je m'excuse, Messieurs, d'avoir ainsi abusé de vos instants en me laissant entraîner à un aperçu d'ailleurs bien incomplet de la traction électrique actuelle sur quelques grands chemins de fer, et je désire tout particulièrement vous remercier de la bienveillante attention que vous avez bien voulu m'accorder. »

BIBLIOGRAPHIE.

Unités électriques, par le Comte DE BAILLEHACHE. H. Dunod et H. Pinat, éditeurs.
Paris, 1909.

Comme le montrent les discussions récentes qui viennent d'avoir lieu aux séances de la Société, la question des Unités est toujours d'actualité. C'est pourquoi le travail consciencieux de M. de Baillehache arrive à une heure réellement propice.

L'Auteur expose tout d'abord l'enchaînement des idées qui ont présidé à la création des systèmes d'unités. Il étudie les relations mathématiques qui relient les unités entre elles et montre à plusieurs reprises l'application du système C. G. S. aux lois expérimentales qui forment la base de nos connaissances en Électricité et en Magnétisme. N'oubliant pas qu'il s'adresse surtout à des praticiens, M. de Baillehache fait voir que le choix des unités fondamentales de la Mécanique a conduit, pour les unités absolues dérivées, à des valeurs beaucoup trop grandes ou trop petites pour les applications industrielles.

Enfin, cet Ouvrage signale les résultats des travaux les plus récents sur les étalons métriques et fait connaître l'état d'avancement des recherches poursuivies dans les différents pays au sujet de la réalisation des étalons électriques internationaux.

Grâce à la précision et à la clarté du texte, ce Volume rendra certainement de grands services et sera très goûté du public électrotechnique désireux d'avoir une base sérieuse pour appuyer ses connaissances.

La télégraphie sans fil et les applications pratiques des ondes électriques, par A. TURPAIN, professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers (2^e édition). Paris, Gauthier-Villars, éditeur; 1908.

Avec un titre légèrement modifié, le présent Volume constitue la seconde édition des *Applications pratiques des ondes électriques*, publiées par l'Auteur en 1902 à la librairie C. Naud.

La télégraphie sans fil étant devenue la principale application des ondes hertziennes, il était tout indiqué de transformer ainsi le titre primitif de l'Ouvrage et d'y réserver une très large part à la télégraphie sans fil et à ses applications.

Après une étude générale des ondes électriques, de leur mode de production et des moyens de les observer, l'Auteur expose les principes de leur application à la télégraphie sans fil.

Il passe ensuite en revue les dispositions pratiques des appareils; il s'étend très complètement sur la détermination des longueurs d'onde et sur la question capitale de leur amortissement. Ce phénomène est d'une extrême importance et a permis d'aborder avec succès le difficile problème de la syntonisation.

Dans le Chapitre IX, M. Turpain expose les applications des ondes à la télégraphie avec fil. En réunissant les antennes de deux postes A et B par un conducteur, on peut télégraphier, par exemple de A vers B, au moyen des ondes électriques, et communiquer simultanément de B vers A en se servant des appareils ordinaires avec piles de la télégraphie ordinaire.

On réalise ainsi la télégraphie multiplex d'une manière excessivement simple par ce procédé mixte de télégraphie sans fil et avec fil. L'Auteur regrette d'être seul à s'occuper de cette intéressante question et s'étonne qu'elle ait laissé indifférents les spécialistes en la matière.

Enfin, dans les derniers Chapitres, M. Turpain passe en revue les applications les plus récentes des ondes électriques : commande à distance d'organes mécaniques, étude des orages, courants de haute fréquence, éclairage par les ondes électriques, etc.

Cette énumération suffit à montrer que, si l'Auteur a conservé le plan primitif de son premier Ouvrage, il l'a profondément remanié pour le mettre au courant des progrès les plus récents accomplis dans cette branche spéciale de l'Électricité.

Machines-Outils. *Outillage, Vérificateurs* (Notions pratiques), par P. GORGEU, Capitaine d'artillerie. Paris, Gauthier-Villars.

Cet Ouvrage, purement descriptif de procédés de travail ou de mécanismes, comprend les notions élémentaires pratiques que les officiers détachés dans les établissements constructeurs doivent posséder, au moins, pour accomplir leur mission de surveillance dans les ateliers.

Formulaire de l'Électricien et du Mécanicien, par GASTON ROUX, Expert près le tribunal civil de la Seine, Directeur du Bureau de contrôle des installations électriques. (23^e édition.) Paris, Masson et C^{ie}; 1909.

La nouvelle édition du *Formulaire*, dont l'éloge ne devrait plus être à faire, comprend un grand nombre de documents nouveaux.

Le Chapitre de la production et de la canalisation de l'énergie électrique des éditions précédentes a été scindé en deux parties distinctes : l'une (9^e Partie) traitant du courant électrique, de la production et de la transformation de l'énergie; l'autre (10^e Partie) spécialement réservée à la canalisation et à la distribution.

La question des dynamos à courant continu, qui avait disparu de l'édition de 1908, est heureusement rétablie en bonne place.

De nombreuses Tables, des renseignements sur les turbines à vapeur, des données de construction et de fonctionnement des dynamos, l'étude des câbles souterrains, des conditions d'exploitation de stations centrales, sont venus s'ajouter au recueil si familier aux techniciens, mis ainsi au courant des actualités. Souhaitons qu'il conserve, dans l'avenir, le caractère de clarté et de précision qui lui a valu une renommée universelle.

A cet égard, signalons à l'attention de M. Roux la nécessité de mettre les nouveaux documents en harmonie avec ce principe.

L'électrotechnique exposée à l'aide des Mathématiques élémentaires. TOME I^{er} :
L'énergie et ses transformations; Phénomènes magnétiques, électriques et électromagnétiques; Mesures usuelles, par N.-A. POQUET et A.-C. DOCQUIER, Ingénieurs des Mines, anciens professeurs d'écoles industrielles, et J.-A. MONTPELLIER, Rédacteur en chef de *L'Électricien*.

Le développement du titre est suffisant pour dispenser d'une analyse plus détaillée.

L'indication de « Tome I^{er} » laisse à penser que les auteurs ont l'intention de publier, en s'inspirant du même esprit, un *Traité général de l'électricité*, dont les Volumes futurs accuseront probablement le côté technique.

Quant au présent, le caractère en est purement théorique, les notions générales relatives à l'électricité y étant seules traitées; il montre bien l'effort des auteurs pour développer des sujets ordinairement assez arides en n'ayant recours qu'aux Mathématiques élémentaires, objet principal de leurs préoccupations et qu'ils sont arrivés à réaliser. Comme tel ce Volume prendra une place honorable dans la collection des Ouvrages similaires.

Le réglage des groupes électrogènes, par J.-L. ROUTIN, ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur-conseil. Préface par M. H. LÉAUTÉ, Membre de l'Institut. Édition de la *Lumière électrique*.

L'intérêt du réglage automatique des groupes électrogènes n'est plus à démontrer en raison du développement croissant des réseaux et de leurs utilisations si diverses : lumière et service de force motrice, etc. Jusqu'ici le problème n'avait pas été traité dans son ensemble.

M. Routin a mis élégamment en évidence les réactions mutuelles de la machine motrice et de la dynamo; il en a déduit non seulement une théorie ingénieuse de l'asservissement, mais encore des procédés de réglage particulièrement remarquables au point de vue industriel et décrits dans un Chapitre spécial. Si nous ajoutons que les applications ont justifié amplement les démonstrations, on comprendra l'importance de la contribution de l'auteur à une question aussi capitale dont on peut dire qu'il a analysé toutes les faces.

Les résultats obtenus intéressent au plus haut point les électriciens tant pour le réglage individuel des groupes que pour le cas complexe de la marche en parallèle.

La connaissance de l'étude de M. Routin est indispensable à tous les techniciens que ces questions peuvent préoccuper.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 3 heures à 6 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

Calcul et construction des appareils de levage, treuils et ponts roulants.
par ÉTIENNE PACORET. Paris, Gauthier-Villars, Masson et C^{ie}, 1909; 1 vol.
in-8°, broché (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). (Don de
M. Gauthier-Villars.)

Découvertes (Les) modernes en Physique, par O. MANVILLE. 2^e édition, revue
et augmentée. Paris, A. Hermann et fils, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (Don
de l'éditeur.)

Monteur électricien (Le), par BARNI et MONTPELLIER. 3^e édition, entièrement
refondue, par E. MAREC. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1909; 1 vol. in-18,
cartonné toile (*Encyclopédie industrielle*). (Don de l'éditeur.)

Moteurs (Les), par LÉON LETOMBE. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1909; 1 vol.
in-18, cartonné toile (*Encyclopédie industrielle*). (Don de l'éditeur.)

Étranger.

*Catalogue of the Wheeler Gift of Books, Pamphlets and Periodicals in the
Library of the American Institute of Electrical Engineers*, edited by
William D. WEAVER, with introduction, descriptive and critical notes by
Brother POTAMIAN. New-York, American Institute of Electrical Engineers,
1909; 2 volumes en 3 tomes, reliés toile. (Don de M. Weaver.)

Starkstromtechnik, Taschenbuch für Elektrotechniker, herausgegeben
von E. von RZIHA und J. SEIDENER. Berlin, Wilhelm Ernst und Sohn,
1909; 1 vol. in-18, broché. (Don de l'éditeur.)

Ueber Einige Luftgebilde für Gerichtete Drahtlose Telegraphie, von
E. BELLINI. Leipzig, J.-A. BARTH, 1909; 1 brochure in-8°. (Don de l'au-
teur.)

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 418. — Remarques sur les cas de déraillement des perches de trolley en système désaxé (M. G. Duez), p. 419. — Ampèremètre thermique pour courants de forte intensité et de grande fréquence (M. A. Broca), p. 423. — La Téléphonie sans fil (M. Colin), p. 427. — Remarque sur la stabilité de l'arc de Poulsen (M. Tissot), p. 451. — Application du rhéographe à l'étude de divers phénomènes (M. Abraham), p. 459.

BIBLIOGRAPHIE, p. 477.

OUVRAGES OFFERTS, p. 479.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 7 juillet 1909 (1).

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 479) et des demandes d'admission suivantes :

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

André (Henri-Émile-Alphonse), Ingénieur en chef à la *Société de matériel téléphonique G. Aboilard et Cie*; 4 bis, avenue de Ségur, à Paris. — Présenté par MM. Devaux-Charbonnel et de Valbreuze.

Beausobre (Emmanuel-Henri de), 15, rue Chomel, à Paris. — Présenté par MM. Boutin et Parodi.

Guy (Georges-Théodore), Ingénieur attaché à la Direction de la *Maison Harlé et Cie*; 26, avenue de Suffren, à Paris. — Présenté par MM. J. Rey et A. Blondel.

Jourdan (Claude-René-Marc), Ingénieur E. C. P. à la *Maison Bréguet*; 19, rue Didot, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Davesne.

Lyra da Silva (Heitor), Ingénieur des Chemins de fer de l'État brésilien; 73, rue Aqueducto, à Rio de Janeiro (Brésil). — Présenté par MM. Détroyat et F. Laporte.

Saglio (Victor), Directeur de la *Compagnie générale électrique de Nancy*; 7, rue Théodore-de-Banville, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Davesne.

Soulat (Jean), Constructeur électricien; 25, rue Michel-le-Comte, à Paris. — Présenté par MM. F. Laporte et Marec.

Tissot (Edmond), Inspecteur de la *Compagnie des Chemins de fer du Nord de l'Espagne* (Service électrique de l'exploitation); 21, avenida de Alfonso XIII, à Valladolid (Espagne). — Présenté par MM. Bardon et Constantin.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Cedergren* et *H. Piéper*; il en exprime les regrets de la Société.

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

**REMARQUES SUR LES CAS DE DÉRAILLEMENT DES PERCHES DE TROLLEY
EN SYSTÈME DÉSAXÉ.**

M. G. DUEZ. — « Messieurs, permettez-moi tout d'abord de réclamer l'indulgence qu'on accorde à un lever de rideau. Je suis très confus de parler ici, étant donnée la valeur des conférenciers que vous avez l'habitude d'entendre.

» D'ailleurs, le sujet qui roule sur une question de minimum présente lui-même un intérêt minimum; aussi le traiterai-je dans le temps le plus court (j'allais dire encore *minimum*), afin d'obtenir votre indulgence maximum.

» Ayant eu à constater plusieurs fois que des échappements de perche se produisaient dans les lignes établies en système désaxé au moment où la roulette change de direction, j'ai pensé qu'il y avait un certain intérêt à préciser les principes du système en mouvement.

» Cela est d'ailleurs extrêmement simple : il suffit, en effet, de remarquer que la roulette est animée d'un mouvement relatif de rotation autour de son pied *A*, le système étant entraîné avec une vitesse *V* par la voiture, de telle sorte que la vitesse absolue de la roulette soit dirigée suivant le fil.

» On voit sur la figure la relation qui doit exister entre *v* et *V*; on a

$$\frac{v}{V} = \frac{\sin(\alpha + 2\beta - u)}{\cos(\alpha + 2\beta)}$$

ou

$$v = V [\tan(\alpha + 2\beta) \cos u - \sin u];$$

lorsque la roulette arrive en *M* pour changer de fil, la vitesse *V* doit devenir

$$v' = V (\tan \alpha \cos u - \sin u).$$

» Si la vitesse *V* de la voiture n'a pas changé au moment où l'on change de fil, il y a une variation de la quantité de mouvement égale à $\frac{I}{r^2} (v - v')$, où *I* désigne le moment d'inertie du système

mobile autour du point A , et l la projection horizontale de la perche :

$$F \times l = I(\omega - \omega') = \frac{I}{l}(v - v').$$

» La valeur de cette expression peut donc s'écrire sous la forme suivante :

$$(1) \quad \frac{IV \cos u}{l^2} (\tan \alpha + 23 - \tan \alpha).$$

» Elle indique combien il y a intérêt à réduire le terme $\frac{I}{l^2}$ en em-

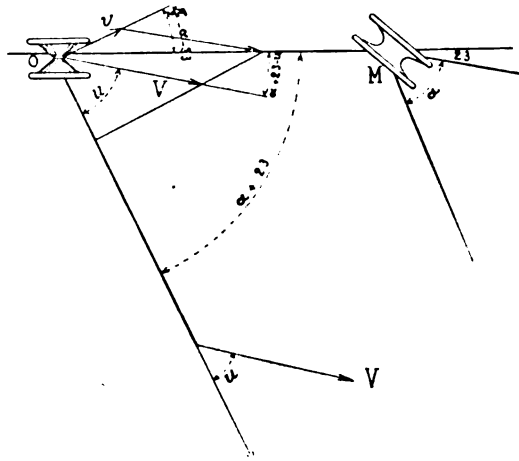


Fig. 1.

ployant des roulettes légères; elle indique aussi l'influence de $\cos u$ et de $\tan \alpha$.

» Si nous examinons, par exemple, le cas où $\alpha = 0$ et $u = 60$, nous trouvons que la valeur du choc est

$$\frac{IV}{l^2} \times \frac{1}{2} \times 0,42,$$

tandis que, pour $\alpha + 23 = 87^\circ$, et $u = 60$, nous trouvons

$$\frac{IV}{l^2} \times \frac{1}{2} \times 18,$$

soit un choc 36 fois plus fort.

» Dans ces conditions, si le ressort est suffisamment doux et si le profil de la roulette le permet, une grande partie du choc sera

absorbée par le ressort, mais il sera difficile d'éviter l'échappement sans prendre de grande valeur de $\frac{l}{l^2}$ compatible avec les dimensions de la roulette.

» Si, au contraire, le ressort est dur, c'est la ligne ou la roulette qui se trouve détériorée à la longue.

» On voit donc qu'il y aura lieu de prendre

$$\cos u \quad \text{et} \quad \tan(\alpha + 23) - \tan \alpha$$

le plus petits possible pour une valeur de $\cos u$ constante : le choc atteint sa valeur minimum pour $\alpha = -\frac{23}{2}$; mais, comme $\cos u$ est une fonction d' α et de la longueur de la perche, il en résulte qu'en général le choc minimum ne correspondra pas à cette valeur de α .

» Si, par exemple, la voiture décrit une courbe de rayon R , α est lié par la relation suivante à u :

$$(2) \quad \cos(-u + \alpha + 23) = -\frac{l}{R} \sin(\alpha + 23) + \frac{a}{R},$$

où a désigne le rayon de la circonférence inscrite dans le polygone formé par la ligne.

» Remarquons à ce sujet que $\cos u$ diminue en même temps que a , ce qui indique qu'il y a avantage à établir sa ligne le plus près possible du centre de la courbe ; mais il faut remarquer que cela ne tient pas, comme on le croit généralement, à ce que la vitesse de la roulette sur le fil est réduite ; car ce qui intervient dans le choc, c'est la vitesse de rotation et non la vitesse suivant le fil.

» On peut d'ailleurs voir sur la figure 1 que c peut être grand sans que nécessairement la vitesse sur le fil soit grande.

» Il faut remarquer aussi qu'il y a lieu de tenir compte de la force centrifuge, qui est de la forme $\frac{v^2}{l}$. La perche se comportant comme un régulateur de machine à vapeur, il faut donc se méfier de trop réduire l .

» *Application des formules.* — Cas où $\alpha + 23 = 90^\circ$; $a = 12$; $R = 18$; $l = 6$ (cas limite) : u tend vers 90° ; le choc se réduit à $\frac{IV}{l^2}$.

» Cas où $\alpha = -23$; $a = 15,8$; $R = 18$; $l = 6$: le choc est égal à $0,9 \times 0,4 \times \frac{IV}{l^2}$, ou à $0,36 \frac{IV}{l^2}$. Un tiers du cas précédent.

» *Plateau de croisement et aiguilles.* — Soient α et u les angles correspondant à la position de la roulette sur la première branche, α' et u' les angles correspondant à la seconde branche; il y aura avantage à ce que

$$\frac{V \sin(\alpha + 23 - u)}{\cos(\alpha + 23)} - \Delta v = \frac{\sin(\alpha' + 23 - u')V}{\cos(\alpha' + 23)}.$$

» Dans le cas où $\alpha = u = \text{const.}$, Δv doit être nul, ce qui n'est pas rigoureusement exact (à cause du frottement, si la roulette n'est pas suffisamment guidée); il y a aussi à tenir compte de ce que la roulette n'est maintenue que d'un seul côté dans ce cas.

» *Remarque.* — Jusqu'ici nous avons supposé V constant; si V ne l'était pas, l'expression du choc serait

$$\frac{I \cos u}{l^2} (V \tan \alpha + 23 - V' \tan \alpha),$$

cas où la voiture entre en courbe en même temps que le changement de fil. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Duez pour l'intérêt pratique de son intéressante Communication.

**AMPÈREMÈTRE THERMIQUE POUR COURANTS DE FORTE INTENSITÉ
ET DE GRANDE FRÉQUENCE.**

M. BROCA. — « La mesure des courants de haute fréquence présente de nombreuses difficultés. Tout d'abord, on ne peut admettre les instruments présentant des enroulements, dont la self-induction changerait notablement les constantes du circuit, et l'isolement entre les spires serait pratiquement irréalisable. Pour avoir un électrodynamomètre de principe indiscutable et ne présentant pas d'inconvénient, j'ai utilisé en 1903 un appareil extrêmement simple; il m'a permis de voir dans quelles conditions on pouvait construire un ampèremètre pratique.

» Une lame d'aluminium de 30^{mm} d'épaisseur, de 1^{cm} de large et de 80^{cm} de long est encastrée verticalement en haut, et horizontalement en bas. Elle forme ainsi un ressort extrêmement volage qui sera traversé par le courant, et qui sera dévié très aisément. La déviation est produite par deux lames fixes, distantes l'une de l'autre de 1^{cm}, larges de 1^{cm}, et longues de 15^{cm}, placées de part et d'autre de la lame d'aluminium. Le courant traverse ces lames fixes et la lame mobile placées en série. Le tout est mis dans un conducteur creux communiquant métalliquement avec une des extrémités de la lame mobile, afin d'annuler les actions électrostatiques. On lit, au moyen d'un microscope à micromètre oculaire, les déviations de la lame d'aluminium.

» Celles-ci se produisent sous diverses actions : 1° les actions électrodynamiques entre le courant des lames fixes et celui de la lame mobile; 2° l'action électrostatique due aux différences de potentiel de marche entre la lame mobile et les lames fixes; cette action serait nulle si la lame mobile était bien exactement à mi-distance entre les lames fixes, mais cela est irréalisable pratiquement; 3° la dilatation de la lame par la chaleur de Joule.

» On peut éliminer ces deux causes de perturbation en opérant par renversement du courant dans les lames fixes. La déviation de la lame mobile change de sens, les actions nos 2 et 3 ne changeant pas. La différence de deux élongations donne une mesure de l'inten-

sité efficace du courant; l'instrument est étalonnable au moyen du courant continu.

» Cet appareil m'a permis d'étudier, en collaboration avec M. Urchini, la résistance de fils métalliques pour les courants de haute fréquence, et de montrer que la formule de Thomson est inexacte. Je sortirais du cadre de cet article en développant les conclusions que j'en ai tirées relativement à l'existence d'un pouvoir inducteur spécifique énorme pour les métaux; je rappellerai seulement que les fils fins, tels que ceux dont on se sert pour la constitution des ampèremètres thermiques, m'ont montré l'existence d'un effet de concentration à la surface assez petit pour permettre de les employer sans erreur sensible aux mesures des courants de haute fréquence habituellement employés. L'erreur pour les fils de moins de 0,3 mm de maillechort est voisine de 2 pour 100, ce qui est absolument négligeable.

» Ces fils ne permettent d'ailleurs pas de mesurer directement des courants supérieurs à 5 ampères, et l'emploi de shunts ordinaires n'est pas valable pour les courants de haute fréquence, ou du moins on ne peut conclure des résultats donnés par l'étalonnage en courant continu à ceux qui seront donnés pour le courant de haute fréquence. Les premiers courants, en effet, se divisent entre les conducteurs en dérivation d'après leur résistance ohmique, et les courants de haute fréquence d'après leur impédance, fonction de la résistance ohmique, de la self-induction et de l'induction mutuelle.

» M. Tissot a montré comment, avec deux ampèremètres, on pouvait tourner la difficulté, en les mettant en série sur un courant de fréquence connue, puis shuntant l'un d'eux de manière à réduire sa déviation à moitié, puis shuntant l'autre au double, de manière qu'en augmentant le courant, le premier donne toute sa déviation et le deuxième la moitié seulement; on peut arriver ainsi par tâtonnements successifs à avoir des appareils donnant des mesures fidèles pour une fréquence donnée; mais cet étalonnage est fastidieux, et doit être recommencé pour toutes les fréquences. Cela est peu pratique.

» J'ai pu au contraire construire un ampèremètre d'un emploi très commode et à sensibilité variable, basé sur un principe indiscutable, de la façon suivante.

» Dix fils horizontaux sont tendus entre deux joues verticales suivant les arêtes d'un prisme régulier; ils forment ainsi une sorte de cage d'écureuil. Le courant est amené par le centre des deux joues, et, par raison de symétrie, se répartira uniformément entre les dix fils. En mesurant par le procédé habituel la dilatation de l'un deux, on aura un appareil qui pourra débiter 50 ampères si chaque fil peut débiter 5 ampères.

» La répartition du courant dans chacun des fils, s'il était isolé,

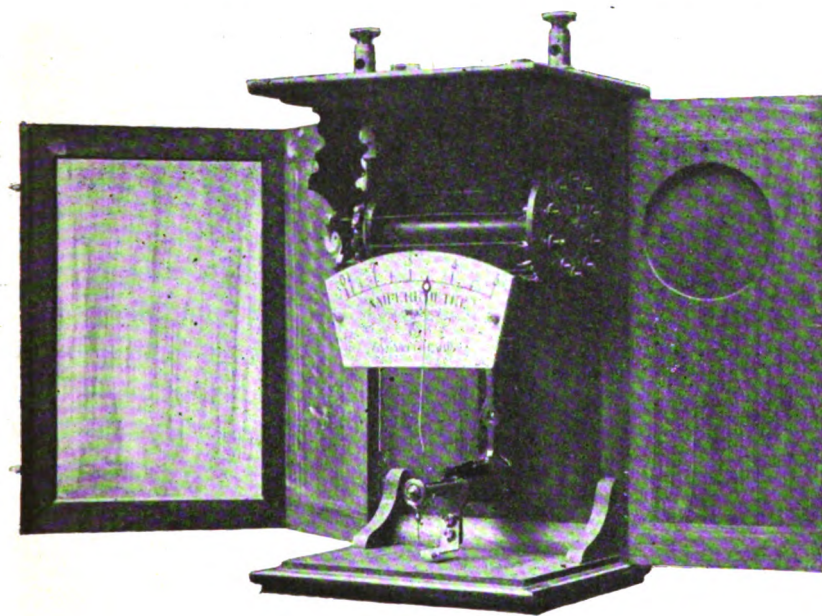


Fig. 1.

serait, comme je viens de le dire ci-dessus, sensiblement la même que pour le courant continu. Il est aisé de voir que l'action de chaque fil sur le voisin, au point de vue de la répartition du courant dans la section droite de chacun de ces fils, serait négligeable. Le calcul serait le même que celui qui montre que, dans l'excitateur de Blondlot, on peut négliger dans le calcul de la self l'action de chacun des fils de l'excitateur sur le fil parallèle.

» On peut voir directement que l'induction mutuelle du système est nulle. Considérons en effet le circuit fermé formé par deux fils parallèles voisins, réunis aux points de dérivation; le circuit est flanqué d'un système de fils symétriques. Chacun d'eux produit un

certain flux de force dans le circuit considéré, mais le symétrique produit un flux égal et contraire; donc il n'y a pas de courant induit local parcourant le système.

» Ce raisonnement n'est rigoureux absolument que si le nombre des fils est pair. S'il n'en est pas ainsi, il y a un fil isolé symétrique par rapport au circuit considéré. Il est aisé de voir d'abord que le flux de force produit par ce fil dans le circuit sera très petit, car la force sera à peu près tangente au plan, et enfin que les forces électromotrices induites dans chaque fil considéré comme faisant partie de deux circuits voisins s'annulent rigoureusement.

» Cet appareil est donc rigoureux à environ 2 pour 100 près, dus à l'effet Kelvin.

» Étudions maintenant les détails de construction. Les deux joues de la cage d'écureuil sont réunies par une colonne en bronze ayant la même dilatation que les fils conducteurs. De la sorte, les variations de la température extérieure n'ont qu'une action extrêmement peu considérable sur le zéro de l'appareil. Les fils sont soudés tous les dix à un des disques. De l'autre côté ils sont isolés au mica, et des vis convenables permettent de les mettre en circuit ou de les enlever. On a alors le moyen de faire varier aisément la sensibilité de l'appareil dans les rapports 1, 2, 5, 10.

» Cet appareil présente un inconvénient quand on l'emploie avec ses dix fils et 50 ampères. Dans ce cas la chaleur produite dans l'appareil est notable, et la colonne centrale chauffe un peu au bout d'un certain temps par conduction. On voit alors l'aiguille dépasser un peu le zéro quand on arrête le courant. Cet effet met environ 10 minutes à atteindre sa valeur maxima, qui est d'environ 4 à 5 pour 100.

» On pourrait éviter cet effet désagréable en construisant l'appareil avec des substances isolantes ou en invar, mais alors le zéro varierait avec la température extérieure, et, au lieu d'avoir une cause d'erreur assez peu considérable d'ailleurs et bien connue, on aurait une erreur variable d'un instant à l'autre, et dont on ne pourrait avoir aucune valeur approchée. Il m'a semblé meilleur de laisser à l'appareil cette imperfection; mieux vaut une erreur un peu grande et connue qu'une erreur moindre et inconnue!

» Pour diminuer l'effet précédent jusqu'à la valeur indiquée, la

colonne centrale a été isolée du disque qui porte les fils par 2 mm d'épaisseur de mica, et elle a été noircie pour augmenter les pertes par rayonnement, et abaisser sa température.

» Le modèle réalisé comporte dix fils et une cage d'écureuil de 10 cm de diamètre. On peut construire des appareils pour courants aussi intenses qu'on le voudra en multipliant le nombre des fils et en augmentant proportionnellement le diamètre des disques. »

M. le PRÉSIDENT remercie vivement M. Broca et le félicite d'avoir réalisé un précieux appareil.

LA TÉLÉPHONIE SANS FIL.

M. V. COLIN. — « Messieurs, les premiers essais de téléphonie sans fil ont suivi de très près la découverte de la téléphonie avec fil.

» Il ne pouvait en être autrement, car ces deux sœurs, si j'ose m'exprimer ainsi, ont entre elles bien des points de ressemblance.

» Vous me permettrez donc de vous rappeler d'une façon très générale les principes de la téléphonie ordinaire, et vous m'excuserez d'oser vous parler de choses si connues de tous quand je vous aurai dit que si je procède de cette façon c'est uniquement et tout simplement pour me faciliter l'exposition du sujet que je vais avoir l'honneur de traiter devant vous, et lui donner en même temps plus de cohésion.

» Supposons donc deux points reliés par un conducteur dans lequel circule un courant électrique d'intensité constante qui peut être nulle.

» Si à l'un de ces points, qui constituera, si vous le voulez bien, le poste récepteur, vous intercalez dans le conducteur un téléphone, ce téléphone ne décèlera aucun bruit.

» Sa plaque vibrante, constamment attirée par le courant constant, ne vibrera pas.

» Mais si, à l'autre point, qui constituera le poste transmetteur, vous intercalez sur le conducteur un microphone, c'est-à-dire un appareil ayant la propriété de varier de résistance sous l'action des ondes sonores, chaque fois que vous parlerez devant ce microphone la résistance de l'ensemble, microphone conducteur, téléphone, variera, et la plaque du téléphone récepteur, suivant les variations du courant, vibrera et reproduira les sons ou paroles émises.

» Vous voyez donc que, pour faire de la téléphonie avec fil, il faut envoyer, d'un poste émetteur à un poste récepteur, un courant d'intensité constante et faire varier ce courant sous l'action des ondes sonores.

» En téléphonie sans fil le conducteur reliant les deux postes n'existe pas.

» Il faut donc remplacer le courant d'intensité constante, circulant dans le conducteur, par quelque chose jouant un rôle analogue et circulant dans l'espace.

» La première solution du problème a été donnée par Graham Bell lorsqu'en 1880 il inventa le *photophone*.

» Graham Bell utilisait une source lumineuse *d'intensité constante* dont il réfléchissait les rayons à l'aide d'un miroir concave en verre mince sur lequel agissaient les vibrations sonores de la parole.

» Un miroir récepteur recueillait les rayons lumineux émis et les concentrait sur une résistance de sélénium qui, placée dans un circuit local contenant un téléphone, donnait, grâce à sa propriété de varier de résistance sous l'action de la lumière, la reproduction des paroles émises.

» Bell put ainsi téléphoner sans fil jusqu'à environ 200^m.

» Plus tard, Simon, Duddell et Ruhmer, en agissant au poste émetteur, sur les ondes lumineuses, par l'intermédiaire d'un microphone placé dans un circuit local auxiliaire, parvinrent à communiquer à une quinzaine de kilomètres.

» Tous les appareils de ce genre, sur lesquels je ne m'étendrai pas, utilisant les vibrations produites soit par une source de lumière, soit par une source de chaleur, ne peuvent évidemment pas permettre de franchir de grandes distances.

» Même, s'il était possible de parvenir à mettre en jeu des énergies suffisantes pour actionner un détecteur extra-sensible très éloigné, le phénomène de la transmission se trouverait bientôt empêché à cause de la rotondité de la terre.

» Nous savons en effet que la chaleur et la lumière sont produites par des oscillations de longueurs micrométriques dont le pouvoir diffractif est par conséquent à peu près nul.

» Pour franchir des distances considérables il fallait donc, tout en marchant dans la voie tracée par Graham Bell, employer des vibrations de longueur d'onde beaucoup plus grandes, utilisant la terre comme une surface conductrice.

» L'emploi des oscillations électriques était donc tout indiqué.

» Je suis donc naturellement amené à vous parler des différents modes de production de ces oscillations.

» Pour produire ces oscillations, on utilise le plus généralement

en télégraphie sans fil la décharge d'un condensateur dans un circuit fermé par une étincelle.

» La self et la capacité totales du circuit considéré doivent satisfaire à certaines conditions pour que le phénomène ait un caractère nettement oscillant.

» Chaque décharge du condensateur donne alors naissance à une suite d'oscillations amorties dont le nombre de périodes est en général très faible.

» Le condensateur, une fois déchargé, est rechargé à l'aide d'un alternateur ou d'une bobine à courant interrompu.

» Dans ces conditions, on obtient un train d'ondes de durée extrêmement courte vis-à-vis de l'intervalle séparant deux trains d'ondes successifs ou deux décharges du condensateur.

» Pour fixer les idées, considérons une oscillation de durée égale à $\frac{1}{1000000}$ de seconde, et supposons que chaque train comprenne 40 oscillations, le condensateur se déchargeant à raison de 100 décharges par seconde.

» La durée du train d'ondes sera donc de $40 \times \frac{1}{1000000}$, soit $\frac{1}{100}$ de $\frac{1}{100}$ de seconde.

» Si l'on veut utiliser des oscillations de cette nature en téléphonie sans fil, il faudra donc que ces silences, si j'ose m'exprimer ainsi, égaux dans le cas que je viens de vous citer à $\frac{99}{100}$ de seconde par seconde, soient rendus assez courts et assez peu nombreux pour que le nombre de périodes sensibles et d'amplitudes égales soit du même ordre que celui des oscillations sonores; on se heurte de suite à de très graves difficultés.

» Vous savez, en effet que l'organe phonique humain produit, dans l'élocution naturelle, des vibrations sonores dont la fréquence est comprise entre 100 et 800 et que les harmoniques qui donnent à la voix son timbre particulier peuvent atteindre des fréquences de l'ordre de 5000.

» Il est donc évident que, pour reproduire le son complet de la voix au moyen des ondes amorties, il faudra que le nombre des décharges par seconde soit d'au moins 5000, puisque seule la première oscillation de chaque train d'ondes est utilisable.

» Si nous nous en tenions à ce nombre l'émission elle-même

aurait une tonalité propre qui se traduirait au téléphone récepteur par un son continu, qu'on ne pourra faire disparaître qu'en dépassant la fréquence de 35000 correspondant à l'extrême limite des sons perceptibles par l'oreille humaine.

» Nous sommes ainsi conduits à employer ces fréquences d'étincelle de l'ordre de 40000.

» MM. Blondel et Majorana ont étudié des systèmes de ce genre, mais leurs savants travaux ne paraissent pas avoir donné des résultats pratiques.

» En particulier M. Majorana, qui, dans ses premières expériences de téléphonie sans fil, employait un producteur d'ondes basé sur les considérations précédentes, a dû l'abandonner pour revenir à l'emploi du générateur de Poulsen.

» Actuellement tout le monde paraît d'accord sur la nécessité de se servir, pour la téléphonie sans fil, d'oscillations franchement continues, c'est-à-dire se succédant sans interruptions, comme dans un courant alternatif ordinaire.

» Il s'agit donc de produire des courants périodiques dont la fréquence permette la mise en jeu du phénomène d'élasticité pour des masses aussi mobiles que celles qui composent l'éther.

» Dans cette voie la première idée qui vient naturellement à l'esprit est l'emploi d'un alternateur aux bornes duquel on recueillerait le courant de la pulsation désirée.

» Mais vous vous rendez immédiatement compte que le nombre de pôles et la vitesse de rotation du rotor d'une pareille machine sont très difficilement réalisables.

» Cependant des tentatives ont été faites pour construire des alternateurs de ce genre.

» Duddell a pu obtenir une fréquence de 120000 périodes et Ruhmer est parvenu jusqu'à 300000.

» Malheureusement leurs alternateurs n'avaient que des puissances vraiment par trop faibles : — 0,2 watt pour celui de Duddell, 0,001 de watt pour celui de Ruhmer.

» Aux États-Unis, Fessenden serait arrivé à réaliser un alternateur de fréquence de 50000 et d'une puissance de 40 watts.

» Il semble cependant qu'on peut espérer, dans un avenir sans doute peu éloigné, voir se réaliser la production industrielle de

courants de la fréquence nécessaire pour la téléphonie sans fil, grâce en particulier aux travaux de M. Béthenod.

» Une solution qu'on a envisagée consiste dans l'emploi d'alternateurs réunis en cascade, chacun d'eux excitant l'inducteur du suivant.

» On démontre en effet facilement que si un alternateur homopolaire de p pôles, tournant à la vitesse de n tours par seconde, est excité à l'aide d'un courant de fréquence N , il donne naissance à deux courants de fréquence $N + \frac{pn}{2}$ et $N - \frac{pn}{2}$.

» On peut, au moyen de condensateurs convenablement disposés, donner par résonance la prépondérance au premier et exciter ainsi l'alternateur suivant avec un courant de fréquence $N + \frac{pn}{2}$.

» En résumé, à l'heure actuelle, il semble que le procédé le seul vraiment encore pratique pour produire des oscillations entretenues est le procédé signalé par Elihu Thompson en 1892, par Duddell en 1900 et perfectionné par Poulsen en 1903.

» C'est à dessein que j'emploie l'expression d'*ondes entretenues* au lieu de celle, tout à fait impropre, d'*ondes non amorties*.

» Cette dernière dénomination que vous rencontrerez dans nombre d'Ouvrages était dans l'esprit des auteurs destinée à être opposée à celle des ondes amorties produites dans un circuit fermé par une étincelle.

» Mais il est bien évident qu'il ne saurait exister des ondes sans amortissement, c'est-à-dire de mouvement se prolongeant indéfiniment sans aucune perte d'énergie.

» Il est même indispensable, en télégraphie comme en téléphonie sans fil, de favoriser l'amortissement utile qui nous permet de produire le phénomène désiré au détriment de l'énergie mise en jeu à l'origine.

» C'est ainsi que dans les systèmes radiotélégraphiques ou radiotéléphoniques on doit choisir une forme d'antenne favorisant le plus possible le rayonnement.

» Dans la production des ondes entretenues la perte due à l'ensemble de l'amortissement est réparée à chaque période par un afflux constant d'énergie nouvelle.

» Elihu Thompson signala donc en 1892 qu'un circuit, comprenant

une self L et une capacité K et formant shunt aux électrodes d'un arc, pouvait dans certaines conditions être le siège d'oscillations entretenues.

» La période de ces oscillations peut être, en première approximation, déterminée par la formule de Thompson

$$T = 2\pi\sqrt{CL}.$$

» Pour que ce courant oscillatoire prenne naissance il faut tout d'abord que la caractéristique de l'arc soit franchement abaissée,

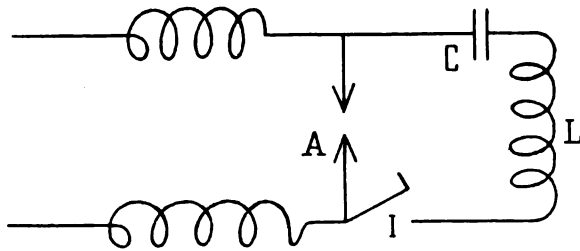


Fig. 1.

c'est-à-dire que les conditions ordinaires de stabilité d'un arc éclairant soient parfaitement remplies.

» Si l'on ferme alors, au moyen de l'interrupteur I , le circuit ACL , une partie du courant de la source est détournée de l'arc pour charger le condensateur K .

» La diminution de l'intensité du courant traversant l'arc provoque en raison de l'inclinaison de la caractéristique un accroissement de la différence de potentiel aux électrodes. La charge du condensateur se trouve donc favorisée.

» Lorsque ses armatures sont à la tension de la source, le condensateur tend à se décharger à travers l'arc.

» L'accroissement de l'intensité dans ce dernier cause un brusque abaissement du voltage entre ses électrodes, ce qui vient favoriser maintenant la décharge du condensateur et ainsi de suite. La self intercalée dans le circuit oscillant joue ici le même rôle que dans tous les circuits générateurs d'oscillations électriques.

» Elle donne l'inertie nécessaire à la production du phénomène pendulaire, s'opposant au mouvement lors de sa naissance, le prolongeant lorsque les causes qui l'ont déterminé ont disparu.

» Ces explications, trop simples, peuvent cependant faire comprendre pourquoi il existe des proportions favorables de self et de capacité.

» Quand le premier élément est prépondérant, le retard qu'il apporte à l'ébranlement du système est trop grand; s'il n'a pas une importance suffisante, il n'existe plus de réaction et le phénomène ne peut être pendulaire.

» Duddell, reprenant en 1900, à très peu de choses près, le dispositif de Thompson, observa que, dans certaines conditions, l'arc donnait une note musicale.

» C'est le phénomène connu sous le nom d'*arc chantant*, étudié depuis par Simon, Reich, Banti, La Rosa, Maisel, Banti, Blondel, etc.

» En 1902, M. Blondel, dans son brevet anglais n° 15527, indiqua l'emploi de l'arc pour la production des ondes hertziennes entretenues appliquées à la télégraphie et la téléphonie sans fil.

» En 1903, M. Campos signale également la possibilité d'utiliser en radiotélégraphie et en radiotéléphonie un ou plusieurs arcs pouvant jaillir dans le vide.

» Duddell n'avait pu obtenir des oscillations de fréquence supérieure à 10000.

» Banti en 1903 parvint à en réaliser d'une fréquence de 120000 et Salomonson d'une fréquence de 400000.

» En réalité on peut en employant l'arc de Thompson ou de Duddell, brûlant à l'air libre, obtenir des oscillations de fréquence très élevée, mais l'amplitude de ces oscillations diminue extrêmement vite avec la fréquence.

» Il en résulte que l'arc de Duddell est inutilisable en télégraphie sans fil, car, si l'on veut mettre en jeu une énergie suffisante pour obtenir des communications à grande distance, on est conduit à des fréquences correspondant à des longueurs d'onde impossibles à réaliser dans de bonnes conditions, à cause de l'extraordinaire développement d'antenne qui en résulterait.

» Le mode de production des oscillations électriques à l'aide de l'arc a commencé seulement à devenir pratique lors de la découverte de Poulsen, qui, en 1903, en faisant jaillir l'arc dans une atmosphère de carbure d'hydrogène entre une électrode positive métallique et une électrode négative en charbon, a pu obtenir des

oscillations très énergiques dont la fréquence pouvait atteindre le million.

» Le générateur de Poulsen est constitué de la façon suivante :

» L'arc jaillit entre une anode en cuivre et une cathode en charbon, soit dans un milieu d'hydrogène ou de carbure d'hydrogène, ou encore dans une flamme de gaz ou d'alcool.

» Un champ magnétique très puissant, transversal à l'arc, sert à le fixer, par rapport aux électrodes, afin d'obtenir une plus grande constance du régime général et également, d'après Poulsen, à obtenir des oscillations plus énergiques.

» Ce champ magnétique est produit à l'aide d'électro-aimants excités par le courant d'alimentation de l'arc et qui font en même temps fonction de bobines de self.

» L'anode en cuivre est refroidie par une circulation d'eau.

» Le charbon qui constitue la cathode, de fort diamètre, doit avoir un bord très vif, soigneusement façonné au tour et est amené d'un mouvement de rotation d'environ 0,1 mm par minute, ce qui entraîne l'obligation de le changer assez fréquemment.

» C'est ce procédé qui jusqu'ici a été utilisé d'une façon générale par les différents expérimentateurs pour la production des ondes entretenues employées dans leurs recherches sur la téléphonie sans fil, à l'exception toutefois de M. Fessenden qui, ainsi que je l'ai dit tout à l'heure, aurait pu se servir d'un alternateur spécial imaginé par lui et de MM. Goldsmith et Ruhmer qui, en 1908, ont utilisé un arc à l'air libre entre deux électrodes constituées par des fils en aluminium à section carrée de 1 mm de côté tendus sur des surfaces convexes et entraînés continuellement en sens inverse par un moteur électrique.

» L'emploi des oscillations électriques entretenues a permis de réaliser le problème de la transmission sans fil de la voix humaine à des distances considérables.

» Elles viennent jouer, en quelque sorte, le rôle du courant d'intensité constante circulant dans le fil reliant le poste transmetteur au poste récepteur en téléphonie ordinaire.

» Supposez en effet que, par le procédé Poulsen, ou tout autre procédé, agissant par induction sur une antenne, vous arrivez à rayonner dans l'espace une oscillation unique, d'une pureté absolue.

» Une antenne réceptrice, placée dans le rayon d'action du poste émetteur, vibrera à son tour, si elle a été convenablement accordée.

» Si cette antenne, par l'intermédiaire d'un détecteur approprié, est mise en liaison avec un téléphone, celui-ci, appareil auditif, ne décelant que des fréquences relativement faibles, ne produira aucun son.

» Mais si, par l'intermédiaire d'un dispositif microphonique, nous parvenons, sous l'action des ondes sonores de la parole, à faire varier, soit la longueur de l'onde pure rayonnée, soit son amplitude, soit les deux en même temps, le téléphone récepteur reproduira les paroles émises.

» Différents savants étrangers, MM. Poulsen, de Forest, Majorana, Fessenden, Goldsmith, Ruhmer, etc., et bien d'autres que je m'excuse de ne point nommer, ont réalisé des appareils de téléphonie sans fil et obtenu des résultats très encourageants.

» Il est extrêmement difficile de se procurer des renseignements précis au sujet des distances franchies et des résultats obtenus comme qualité de la transmission.

» En effet, à ma connaissance, il n'a jamais encore été effectué d'expériences officielles contrôlées par une commission, à l'exception toutefois de celles qui ont eu lieu avec les appareils installés l'année dernière à bord de l'escadre des États-Unis. Ces appareils ont permis de communiquer à une vingtaine de kilomètres en mer.

» Ils ont été essayés en France, entre la Tour Eiffel et Villejuif (8 km), devant des délégués des différents ministères français.

» La communication, bonne le plus souvent, devenait quelquefois irrégulière et était de temps en temps couverte par des bruits parasites provenant du fonctionnement irrégulier de l'arc et du microphone qui n'était pas capable de supporter pendant plus de quelques minutes l'intensité du courant qui le traversait.

» Le Rapport annuel officiel établi chaque année par le chef du bureau de l'équipement de la Marine des États-Unis, publié le 1^{er} janvier 1909, s'exprime ainsi au sujet de la téléphonie sans fil :

« La téléphonie sans fil a été expérimentée à bord d'un certain nombre de navires de guerre. Elle n'a pas donné des résultats satisfaisants. Il est permis d'espérer cependant que d'ici peu ce moyen

» de communication pourra devenir pratique entre bâtiments. »

» Ce document nous renseigne, dans une certaine mesure, sur l'état d'avancement du problème aux États-Unis.

» M. Poulsen a annoncé qu'il avait réussi à transmettre des paroles à 250 km environ et de la musique phonographique de Copenhague à Berlin, à la distance de 500 km (Fleming, p. 650).

» Je vous signale en passant que la transmission de la musique ou du chant se fait avec une extrême facilité et que l'indication d'une distance franchie par de la musique ou du chant ne peut en aucune façon renseigner sur la valeur des appareils.

» Je puis vous citer l'exemple suivant :

» Il y a un an environ, au cours d'un essai entre la Tour Eiffel et Villejuif, alors que nos appareils n'étaient nullement au point et que Villejuif, à 8 km de distance, n'entendait pas très nettement les paroles prononcées à la Tour, MM. Tosi et Bellini, dans leur station de Dieppe où ils poursuivaient leurs intéressantes études sur la direction des ondes, entendirent très distinctement à 150 km une chanson provenant du poste de la Tour.

» MM. Goldsmith et Ruhmer ont signalé, au Congrès d'Électricité de Marseille, qu'en utilisant une antenne comprenant 20 fils de 70 m de hauteur et une onde de 1750 m, ils avaient pu obtenir une bonne communication de paroles entre Bruxelles et Namur, soit 60 km, pendant 30 minutes, et une bonne transmission de chant entre Bruxelles et Liège, soit 110 km.

» Plus récemment, M. Majorana a fait connaître qu'en employant comme système transmetteur le dispositif de Poulsen et un microphone hydraulique de son invention, il était parvenu avec une antenne de 45 m à communiquer avec un bâtiment jusqu'à 200 km et entre deux stations séparées par la mer d'environ 400 km.

» J'ignore si ces résultats ont été obtenus de jour ou de nuit.

» Nous avons, mon camarade Jeance et moi, intégré tous les résultats qui nous ont paru acquis à la suite des recherches antérieures dont nous avons pu avoir connaissance, et, partant de cette base suffisamment solide, nous avons entrepris de nouvelles études à l'aide de très modestes ressources mises à notre disposition par le département de la Marine.

» Nous avons pu ainsi établir un ensemble d'appareils de télé-

phonie sans fil qui semble capable de pouvoir assurer, dans de bonnes conditions, un service commercial, de jour comme de nuit, par tous les temps, même les plus chargés de troubles atmosphériques, à une distance d'environ 200 km, avec des antennes d'une trentaine de mètres de hauteur et une longueur d'onde très pratique de 600 m.

» Avant de vous décrire les appareils qui nous ont servi dans nos récentes expériences, je vais vous exposer les principes qui nous ont guidé dans nos recherches.

» Je diviserai cette exposition en deux parties. La première aura trait à la production de l'oscillation qui devra rayonner l'énergie nécessaire à la mise en vibration permanente du système récepteur; la seconde se rapportera au mode d'action de la voix sur les amplitudes ou les longueurs d'onde du mouvement périodique utilisé.

» L'onde rayonnée doit être pure, d'une constance d'amplitude absolue et aussi puissante que possible pour l'énergie mise en jeu.

» La réalisation de ces conditions se constate pratiquement par la fixité complète de l'aiguille d'un ampèremètre intercalé soit dans l'antenne d'émission, soit dans le circuit d'un ondemètre accordé placé dans le voisinage de cette antenne.

» Si ces conditions ne sont pas absolument remplies, c'est-à-dire si l'aiguille de l'ampèremètre dont je viens de vous parler oscille très rapidement autour d'une position moyenne, le téléphone récepteur enregistre d'une façon ininterrompue des bruits de friture très violents qui empêchent toute transmission acceptable de la parole, *mais non du chant ni de la musique*.

» Le but à atteindre sur ce premier point étant nettement défini, je vais passer en revue les organes destinés à le remplir.

» Tout d'abord, la source d'énergie doit permettre un débit suffisant pour la production du phénomène oscillatoire, tel qu'il a été décrit précédemment.

» La tension de la dynamo continue génératrice doit être aussi élevée que possible pour le nombre d'arcs employé, tout en laissant une très forte marge pour la résistance destinée à abaisser la caractéristique. Cette tension, d'autre part, doit être telle que la longueur des arcs soit assez faible.

» Il est, à notre avis, mauvais d'allonger l'arc par l'emploi d'un champ magnétique transversal dont la seule utilité nous paraît être de le fixer en un point déterminé des électrodes.

» Des selfs notables doivent être intercalées dans le circuit d'alimentation des arcs pour régulariser le débit du courant ondulé de la dynamo et empêcher les réactions du courant oscillant de parvenir jusqu'au collecteur.

» L'intensité d'alimentation des arcs ne doit pas dépasser une certaine valeur au delà de laquelle les oscillations deviennent extrêmement irrégulières.

» Examinons maintenant les qualités particulières que doit posséder l'arc.

» Pour qu'aucune perturbation ne se produise, il doit être parfaitement stable, ce qui impose, et j'insiste encore sur ce point, une distance entre électrodes extrêmement faible.

» Pour augmenter la puissance des appareils on sera donc amené, si l'on veut avoir un fonctionnement satisfaisant, à l'emploi de plusieurs arcs en série.

» Afin d'obtenir des oscillations puissantes, il faut que les électrodes soient franchement et régulièrement refroidies de façon à conserver une température aussi constante que possible et que par conséquent le milieu dans lequel jaillira l'arc soit bon conducteur de la chaleur.

» Les carbures d'hydrogène, comme l'a montré Poulsen, conviennent parfaitement. Ils présentent en outre plusieurs autres avantages.

» Ils permettent, pour une longueur d'arc déterminée, d'utiliser un voltage plus élevé.

» De plus, ils provoquent une dissociation chimique qui dérobe à l'arc un grand nombre de calories.

» Enfin l'arc décomposant les hydrocarbures libère des particules de carbone qui se déposent sur la cathode de charbon et la nourrissent.

» En choisissant convenablement la proportion de carbone associée à l'hydrogène, nous avons pu obtenir un fonctionnement sans usure ni accroissement de la cathode.

» Nous avons déjà dit que pour avoir une longueur rigoureuse-

ment invariable de l'arc il est nécessaire de le fixer en un point des électrodes.

» C'est ce qu'a cherché à réaliser Poulsen, en employant de gros charbons tournants dont le bord est rigoureusement dressé au tour, et un champ magnétique transversal.

» Enfin l'anode de cuivre doit être refroidie par un moyen quelconque.

» Dans tous les appareils producteurs d'oscillations que nous connaissons, et en particulier dans celui de Poulsen qui paraît être le

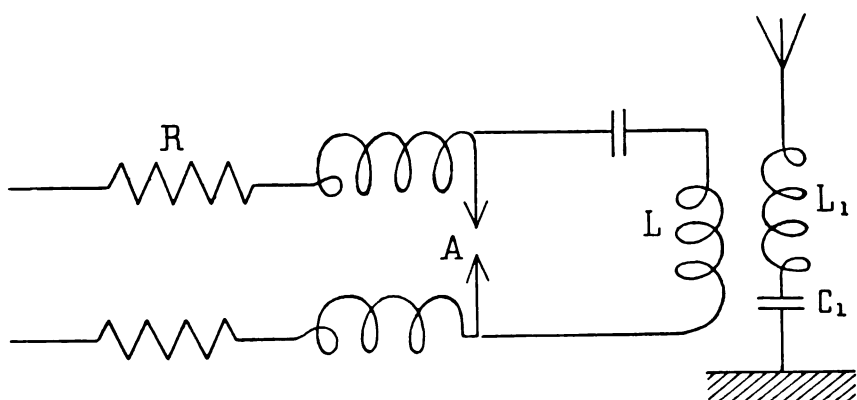


Fig. 3.

plus perfectionné, la self L du circuit oscillant placé en shunt sur l'arc A sert à transmettre directement l'énergie au système rayonnant composé d'une self L_1 , un condensateur C_1 , une antenne et une connexion à la terre aussi courte que possible.

» A notre avis, un tel dispositif ne peut rayonner une oscillation pure d'amplitude invariable.

» En effet, si, après avoir réalisé la constance absolue de l'arc et de la température des électrodes, on étudie ce qui se passe dans le générateur à l'aide d'un ondemètre, on constate l'existence dans ce circuit d'un grand nombre d'oscillations de longueur d'onde et d'amplitude différentes qui ne paraissent reliées entre elles par aucune loi bien définie.

» Il en résulte qu'elles induisent dans l'antenne dont l'amortissement est considérable non plus une onde pure, mais bien une oscillation complexe. C'est bien ce qu'indique l'aiguille de l'ampèremètre de l'antenne ou de l'ondemètre dont je vous parlais tout à

l'heure. Ce phénomène d'instabilité est d'autant plus marqué que la longueur de l'oscillation est plus faible. Mais il existe toujours quelle que soit la longueur d'onde créée, dès que l'on met en jeu tant soit peu d'énergie.

» Avant de passer rapidement en revue les règles qui doivent fixer le mode d'action de la voix sur l'oscillation rayonnée, je vais vous décrire très succinctement le dispositif auquel nous nous sommes arrêtés pour obtenir l'émission d'une onde pure.

» L'originalité de ce dispositif réside principalement d'abord dans le mode d'application des règles posées par les expérimentateurs qui nous ont précédés dans la recherche de la solution du problème et aussi dans plusieurs particularités spéciales dont je vous citerai les plus importantes.

» D'abord, le mode de fixation de l'arc.

» L'arc, comme celui de Poulsen, brûle dans une atmosphère de carbure d'hydrogène entre une électrode positive cuivre et une électrode négative charbon.

» Le nombre des arcs employés varie suivant la puissance demandée aux appareils. Le voltage du courant continu générateur suit également le nombre des arcs utilisés. A titre d'indication, avec trois arcs, nous fonctionnons sous 700 volts.

» L'anode est constituée par un très large cylindre de cuivre refroidi par une circulation intérieure de pétrole par thermo-siphon.

» La partie inférieure de l'anode, sur laquelle jaillit l'arc, est formée par une calotte plate de 12 cm de diamètre environ. L'anode et sa calotte sont fixes. On peut cependant déplacer cette dernière au bout d'un grand nombre d'heures de fonctionnement en la faisant légèrement tourner tout autour de son axe, de façon à changer le point d'où jaillit l'arc.

» L'électrode négative, et c'est là un des points les plus importants de nos appareils, est constituée par un très mince crayon de charbon de 1 mm environ de diamètre.

» Ce crayon minuscule est porté par un radiateur à ailettes, qu'on peut manœuvrer de l'extérieur.

» Le carbure d'hydrogène que nous utilisons est, ainsi que je l'ai dit tout à l'heure, dosé de façon à compenser exactement l'usure du charbon.

» Dans ces conditions, on n'a plus à toucher à l'arc, une fois le réglage effectué.

» Au bout d'un certain nombre d'heures de marche, 6 à 8 environ, il est bon de rafraîchir l'extrémité active du charbon, ce qui peut être fait instantanément à l'aide d'un dispositif particulier.

» La self du circuit oscillant générateur constitue le primaire d'un transformateur Tesla dont le secondaire est formé par une self intercalée dans un circuit intermédiaire à *très faible amortissement* et à caractéristiques électriques invariables déterminées une fois

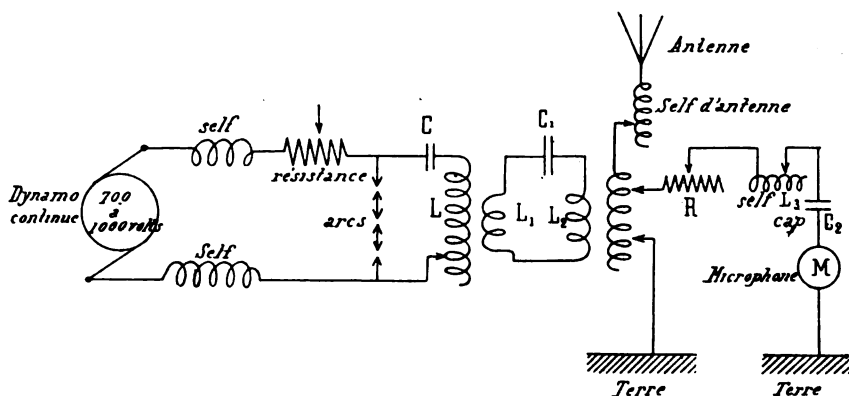


Fig. 3.

pour toutes. Les deux transformateurs Tesla peuvent évidemment être remplacés par des Oudin. Mais, à notre avis, les Tesla, qui permettent une variation plus commode de l'accouplement, sont préférables.

» Ce circuit contient en outre un condensateur et une deuxième self réglables, cette dernière formant primaire d'un deuxième Tesla dont le secondaire également réglable est intercalé dans l'antenne.

» Ce circuit intermédiaire, convenablement réglé, n'est plus le siège que d'une oscillation d'une pureté et d'une fixité presque absolues. Il en est alors de même dans l'antenne accordée et le circuit générateur.

» Je dois dire que l'ensemble de ces réglages est extrêmement délicat et demande un tour de main spécial et une expérience très grande. Mais ces réglages, lorsqu'ils ont été réalisés, n'ont jamais à être retouchés.

» Je passe maintenant à l'étude de l'appareil microphonique.

» Les variations d'amplitude de l'oscillation rayonnée doivent tout d'abord être suffisamment énergiques, car, si la puissance de l'onde qui prend naissance dans l'antenne réceptrice décroît comme le carré des distances de transmission, il en est de même pour les variations d'amplitude, qui seront dues au dispositif microphonique, et les portées de communication dépendent jusqu'à un certain point de l'écart d'intensité maxima que subit l'excitation de l'électro du téléphone récepteur.

» Vous voyez donc bien évidemment que, pour la même énergie mise en jeu à l'origine, les distances franchies en téléphonie sans fil seront toujours très inférieures à celles franchies en télégraphie sans fil.

» Le système microphonique doit encore ne dérober qu'une portion d'énergie aussi faible que possible et n'introduire ni perturbations, ni bruits parasites.

» Il existe un grand nombre de procédés permettant d'influencer, à l'aide d'un microphone, l'oscillation rayonnée.

» Le plus simple, celui employé par de Forest, Fessenden, Poulsen, Majorana, etc., consiste à intercaler simplement le microphone dans l'antenne d'émission.

» On agit ainsi sur l'amplitude de l'oscillation en faisant varier la résistance ohmique du circuit antenne-terre.

» Ce procédé n'est acceptable que pour des communications à très faible distance, car les microphones actuels ne peuvent supporter sans inconvénient une intensité supérieure à 0,5 ou 0,7 ampère. Dès que l'intensité dépasse cette valeur, le microphone chauffe, sa résistance varie, des étincelles jaillissent entre les grains de limaille qui entrent dans sa composition, ce qui se traduit à la réception par des fluctuations très grandes et par une friture empêchant tout fonctionnement acceptable.

» Il faut cependant faire une exception pour le microphone hydraulique imaginé par M. Majorana.

» Cet appareil est basé sur les phénomènes électrocapillaires étudiés par Lippmann en 1873 et plus particulièrement sur la propriété signalée en 1886 par Chichester Bell.

» Un tube de verre très mince, fixé à une membrane vibrante, amène un jet d'eau acidulée, sous une pression invariable, sur un

collecteur formé par deux lames de platine séparées par un isolant.

» Une couche mince du liquide conducteur relie donc électriquement les deux lames précitées.

» Les vibrations de la membrane sur laquelle est fixé le tube d'arrivée d'eau conductrice ont pour effet de faire varier l'épaisseur de la couche de liquide recouvrant le collecteur.

» Ce dispositif peut supporter des intensités assez élevées.

» Un deuxième procédé consiste à faire agir le microphone par induction sur une self intercalée dans l'antenne, en utilisant un circuit accessoire.

» Les variétés d'amplitude obtenues de cette façon sont très faibles.

» Nous utilisons dans nos appareils le montage suivant :

» L'ensemble microphonique se compose d'un très grand nombre de microphones spéciaux, dans la composition desquels n'entre aucune matière combustible et qui peuvent en pratique supporter indéfiniment une intensité de 0,8 ampère.

» Ces microphones sont placés dans un circuit relié par une de ses extrémités à un point convenablement choisi du secondaire du Tesla intercalé dans l'antenne, et par l'autre extrémité à la terre.

» Ce circuit comprend en outre une résistance variable sans self, une self et une capacité réglables.

» Dans ces conditions, les accords étant réalisés comme il convient, un courant d'une fixité absolue égal à $\frac{1}{10}$ du courant de l'antenne circule dans le circuit microphonique.

» Un dispositif spécial permet l'attaque par la voix de l'ensemble microphonique.

» Le poste récepteur ne comporte rien de particulier. Il comprend les mêmes organes, convenablement déterminés, que tout poste récepteur de télégraphie sans fil et utilisé soit un détecteur thermo-électrique, soit un détecteur basé sur l'effet Edison.

» Je termine en vous disant quelques mots des résultats obtenus, qui, tous, ont été réalisés au cours d'essais officiels durant lesquels il n'a été procédé qu'à des transmissions de paroles parlées. Par principe, nous avons toujours supprimé dans les expériences les

transmissions de chant ou de musique, qui impressionnent favorablement des auditeurs non prévenus, mais ne prouvent absolument rien au point de vue de la valeur des appareils.

» Les premiers essais officiels ont eu lieu, il y a 6 mois environ, entre la Tour Eiffel et la station radiotélégraphique de l'Administration des Postes et Télégraphes, installée à Villejuif sur une distance de 8^{km}.

» Les résultats obtenus furent excellents tant au point de vue de la pureté, de la netteté, que de la régularité de l'intensité de réception, ainsi que le constatèrent M. le vice-amiral Aubert, chef d'état-major général de la Marine, et M. le contre-amiral Gaschard, président de la Commission centrale de Télégraphie sans fil.

» L'antenne utilisée à la Tour pour ces expériences et pour celles qui ont suivi avait 60 m de hauteur.

» L'onde employée était celle de 600 m.

» Les deuxièmes essais ont été effectués entre Paris et Melun (distance 48 km) devant une Commission présidée par M. le contre-amiral Gaschard et composée de délégués du département de la Marine et de l'Administration des Postes. Le procès-verbal, en date du 8 mai 1909, s'exprime ainsi :

« Les essais ont été effectués de 3^h30^m à 4^h30^m sans autre interruption que les repos nécessaires à l'émission parlée. Les membres de la Commission sont unanimes à reconnaître que la lecture d'articles de journaux, aussi bien que la conversation directe, ont été remarquablement distinctes, sans manques ni troubles d'aucune sorte...

» Ils considèrent les résultats obtenus comme consacrant définitivement le plein succès des appareils employés. »

» Ces expériences étaient uniquement destinées à permettre de constater les qualités et les défauts de la réception.

» Ce n'étaient, en aucune façon, des essais de distance.

» Les dernières expériences, celles du croiseur *Condé*, avaient pour but de rechercher la portée maxima de communication entre deux bâtiments dans les conditions normales du service à bord.

» A cet effet, la station radiotélégraphique du centre d'instruction de Toulon avait été munie d'une antenne réglementaire identique à celles des bâtiments de guerre.

» Le sommet de cette antenne se trouve environ à 28 m au-dessus des appareils.

» La station émettrice est située dans le fond de la rade de Toulon, rade complètement fermée par des hauteurs peu élevées, il est vrai, mais qui, étant donnée leur proximité de la station, la plaçaient certainement dans des conditions défavorables pour l'échange des communications avec un navire au large.

» Enfin, dans la Méditerranée, à cette époque, et tout particulièrement pendant la durée des expériences, l'électricité atmosphérique donnait lieu à des décharges continues dans l'antenne de réception, au point de rendre les communications par télégraphie sans fil très difficiles.

» Or, vous savez qu'en plus de l'inconvénient de rendre la lecture des signaux quelquefois impossible, la présence des parasites a pour effet de diminuer dans des proportions notables la portée de l'émission.

» Deux stations côtières radiotélégraphiques, appartenant à l'Administration des Postes et Télégraphes, celle de Porquerolles, à 20 km de Toulon, et celle des Saintes-Maries-de-la-Mer située à 128 km, avec interposition de hauteurs importantes sur une grande partie du parcours, ont suivi les expériences effectuées avec le *Condé*.

» Ces deux stations n'avaient pas été avisées et ont écouté avec leurs appareils ordinaires de télégraphie sans fil.

» Les essais ont commencé à 9 h du soir et se sont poursuivis jusqu'au lendemain midi 15, sans interruptions appréciables.

» Les résultats obtenus sont consignés dans les documents officiels suivants :

« 1° *Rapport du Chef de la station radiotélégraphique de Porquerolles (distance, 20 km).* — Les expériences de téléphonie sans fil avec le *Condé* ont eu lieu le mercredi 9 courant.

» Nous recevions d'une façon merveilleuse.

» La voix nous arrivait très forte et très nette.

» Pas une parole ne nous a échappé, même avec l'écouteur placé à 5 cm à l'oreille.

» A plusieurs reprises j'ai entendu causer des personnes qui se

» trouvaient, sans être à l'appareil transmetteur, dans l'intérieur
» du poste.

» La manœuvre des appareils était également perçue.

» Porquerolles, le 12 juin 1909.

» *Le Chef de poste,*

» BRUNIER. »

« 2° *Rapport sur la réception à la station de télégraphie sans fil
» des Saintes-Maries-de-la-Mer des émissions radiotéléphoniques de
» Toulon.* — Les émissions radiotéléphoniques de Toulon ont été
» facilement reçues à la station de télégraphie sans fil des Saintes-
» Maries-de-la-Mer.

» Les commis de cette station n'avaient pas été prévenus.

» Après quelques tâtonnements, ils ont bien entendu toutes les
» paroles prononcées, malgré les troubles atmosphériques qui
» étaient intenses.

» La réception avait lieu avec les appareils ordinaires servant au
» service radiotélégraphique (réception par induction et détec-
» teur Meunier).

» La distance qui sépare Toulon des Saintes-Maries-de-la-Mer
» est de 128 km.

» Paris, le 17 juin 1909.

» *L'Ingénieur chargé du service de la T. S. F.*

» PETIT. »

» Voici enfin les conclusions du Rapport établi par la Commis-
» sion qui fonctionnait à bord du *Condé* :

« *Conclusions du Rapport.* — Après avoir fait suivre par certains
» de ses membres toutes les réceptions aux diverses distances et
» avoir fait des constatations officielles en commun, la Commis-
» sion peut conclure que :

» 1° A moyenne distance, 55 km environ, les communications
» ont été faciles pour tous ;

» 2° L'intensité du son à la réception croît jusqu'à environ
» 93 km. »

» Permettez-moi d'ouvrir ici une parenthèse et de donner l'explication de cette constatation, qui paraît tout d'abord anormale.

» Le phénomène signalé tient uniquement à l'interposition des collines voisines du poste émetteur.

» En effet, la réception très forte, lorsque le *Condé* était en rade (on entendait avec les récepteurs placés à 70 cm des oreilles), a diminué nettement, tout en restant excellente, dès que le bâtiment, peu après avoir appareillé, s'est trouvé séparé du poste transmetteur par les hauteurs dont je vous ai parlé. A mesure que le *Condé* s'éloignait, l'influence de ces hauteurs se faisant moins sentir, l'intensité de réception a augmenté jusqu'au moment où, vers 100 km, l'affaiblissement de la réception dû à l'éloignement du poste transmetteur l'a emporté sur l'augmentation d'intensité due à l'éloignement des hauteurs interposées.

» Je continue maintenant la lecture des conclusions du Rapport du *Condé* :

« 3° A 128 km, des auditeurs un peu exercés ont compris à coup sûr, et les autres n'auraient eu besoin que d'une assez courte accommodation pour comprendre complètement.

» 4° A partir de 139 km, l'intensité du son à la réception a diminué assez rapidement.

» 5° A 160 km, pour des auditeurs peu exercés, la compréhension des phrases semblerait devoir être assurée par leur répétition, et, pour nos télégraphistes, la distance de bonne réception pourrait être portée à 166 km au moins.

» 6° La distance extrême de réception pour un auditeur très entraîné a été jugée, par M. Jeance, être de 178 km.

» Nous devons toutefois remarquer que les atmosphériques devenaient très violents depuis quelque temps et que l'on a eu beaucoup de difficultés à recevoir les signaux par télégraphie sans fil émis par Toulon à midi 15 minutes dès la fin des essais.

» Pendant toute la durée des expériences, la pureté des sons perçus a été remarquable et la réception aurait été améliorée, et la distance limite de réception probablement accrue, si les appareils avaient été installés dans une véritable cabine téléphonique à bonne isolation acoustique au lieu d'une chambre d'officier malgré

» tout le silence qu'on s'efforçait d'obtenir dans ses environs immédiats.

» De plus, pour amener l'antenne à cette chambre, on a dû allonger l'antenne normale d'environ 20 m de câble faisant plusieurs couches dans l'intérieur du bâtiment; de là, perte d'énergie par introduction de self morte dans le circuit de réception.

» A bord du *Condé*, le 9 juin 1909.

» *Le Président*,

» CAPITAINE DE VAISSEAU AUBRY.

» *Les membres de la Commission*,

» DEMOULIN, BOURRAGUÉ, COGNIET,

» BOUSSI, LE TERRIER. »

» Si nous tenons compte des conditions dans lesquelles ont eu lieu les essais, faiblesse de hauteur des antennes, position défectueuse de la station émettrice, électricité atmosphérique, non-isolément acoustique du poste récepteur à bord, nous sommes en droit d'espérer qu'en améliorant ces conditions nous pourrions franchir des distances plus considérables.

» Enfin, les essais avaient lieu au moment de la distance-limite en plein midi, et l'on sait que, la nuit, les distances de communications sont largement accrues.

» En terminant, je vous rappelle qu'il n'a, jusqu'à maintenant, jamais été possible de téléphoner avec fil à travers la mer à plus de 60 km à 80 km, à cause de la capacité des câbles sous-marins.

» C'est ainsi que la Corse et l'Algérie ne sont pas reliées téléphoniquement avec la France.

» Les appareils dont je viens de vous parler permettent de téléphoner sans fil avec la Corse dans des conditions certaines de bon fonctionnement.

» Permettront-ils un jour, si nous parvenons à les perfectionner, de téléphoner avec l'Algérie ?

» Tel est le but que nous poursuivons et sur lequel tendent maintenant nos efforts.

» Messieurs, je vous disais tout à l'heure combien il était difficile d'avoir des renseignements absolument certains sur les résultats obtenus à l'étranger.

» En particulier, je n'ai pu vous parler de ceux auxquels on était parvenu en Allemagne, où une grande société de télégraphie sans fil, la Telefunken, étudie, depuis plusieurs années, avec le plus grand soin, l'arc de Poulsen et son application pratique à la radio-télégraphie et la radiotéléphonie.

» On vient de me communiquer, il y a quelques heures, un document qui va nous renseigner d'une façon absolument certaine à ce sujet.

» C'est un article intitulé : *Le nouveau système Telefunken*, paru dans le *Berliner Tageblatt* du 4 juin 1909, sous la signature de M. le comte Georges Arco, dont la compétence en tout ce qui touche à la radiotechnique vous est bien connue.

» M. le comte Arco, parlant au nom de la Société Telefunken, s'exprime ainsi :

« Dans la technique de la télégraphie sans fil, on s'est, dans ces dernières années, particulièrement attaché à obtenir, pour l'émission, des sons électriques durables, et l'on cherchait, autant que possible, à produire des vibrations non amorties. »

» On obtient ce résultat avec le violon, en passant l'archet bien lentement et bien régulièrement sur la corde.

» Cette façon de procéder correspond, dans la télégraphie sans fil, au système de l'arc Poulsen. Mais il faut remarquer que, pour cela, l'archet du violon est enduit de colophane et non de savon vert.

» Suivant le système Poulsen, la lampe à arc est attaquée avec un archet savonné, et le coup d'archet donné par une main tremblante.

» Cette méthode est inéconomique, c'est-à-dire que, malgré l'emploi d'une énergie considérable, on n'obtient que des vibrations faibles et que, à cause du tremblement, la hauteur du son et la force des vibrations varient constamment. Ce n'est que par un contrôle de tous les instants et un réglage fréquent de l'arc lumineux que le son électrique est, *sinon clair*, du moins constant. Or, dans tout système pratique, l'important, c'est la simplicité des appareils et surtout la simplicité de leur maniement.

» C'est pourquoi la méthode de la lampe à arc n'a pas eu de succès.

» Messieurs, les résultats que nous avons obtenus nous mettent en droit de penser que notre archet est bien enduit de colophane et manié d'une main sûre. »

M. le PRÉSIDENT remercie très vivement M. Colin d'avoir exposé, avec tant de clarté, les résultats de ses très remarquables expériences.

REMARQUE SUR LA STABILITÉ DE L'ARC DE POULSEN.

M. C. TISSOT. — « Les belles expériences dont M. Colin vient de nous entretenir appellent l'attention sur une question qui présente un certain intérêt, en dehors même des applications pratiques à la téléphonie sans fil; celle des conditions de stabilité de l'arc de Poulsen. Ayant eu l'occasion récente, au cours d'expériences de laboratoire, d'exécuter un certain nombre de mesures sur l'arc de Poulsen, je voudrais vous dire quelques mots des résultats que j'ai obtenus ⁽¹⁾ : ils me semblent devoir étayer l'opinion émise par M. Colin au sujet de la critique excessive du comte Arco.

» Ainsi que le faisait observer tout à l'heure très justement M. Colin, l'arc de Poulsen donne naissance, *en général*, non à une oscillation unique de période déterminée, mais à une série d'oscillations irrégulièrement distribuées. C'est bien en effet ce qui se produit quand on emploie l'arc de Poulsen sans précautions spéciales.

» Fleming a montré, par exemple, qu'en faisant tourner dans le voisinage d'un circuit excité par un arc de Poulsen un tube à vide (ou mieux, un tube à néon, gaz dont la luminescence est particulièrement accentuée), on voit se produire, à intervalles assez courts et d'ailleurs irréguliers, des extinctions du tube.

» L'arc donnerait donc naissance, plutôt à une succession discontinue de trains d'oscillations, qu'à un train unique parfaitement continu.

» Mais on peut analyser plus complètement le phénomène en disposant, dans le voisinage du circuit inductif en dérivation sur l'arc, un *ondemètre*, c'est-à-dire un circuit de *résonance* constitué, par exemple, par une self-induction et une capacité variable, et dans lequel se trouve intercalé un ampèremètre thermique.

» Ainsi que nous le signalait tout à l'heure M. Colin, l'ondemètre décele *en général* l'existence de plusieurs maxima. Ces

(1) Les présentes expériences ont été exécutées en collaboration avec M. Gajan.

maxima, assez malaisés à déterminer, car la déviation du thermique subit des variations incessantes, se trouvent plutôt indiqués par

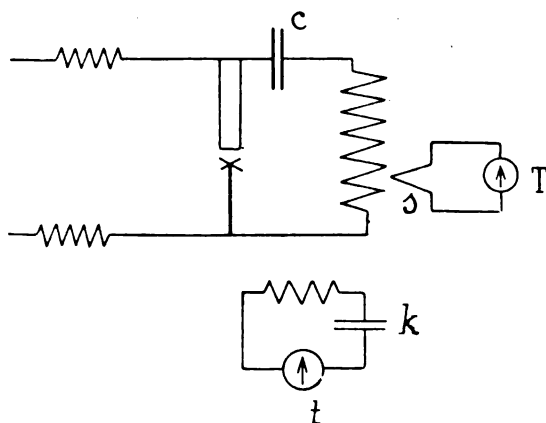


Fig. 1.

une amplitude plus considérable des *oscillations* de l'aiguille que par une *déviati*on fixe plus grande que toutes les autres.

» Il est intéressant de faire agir en même temps par induction et *sans résonance* les oscillations sur un circuit fermé *s* constitué par une simple boucle de conducteur dans laquelle est intercalé un ampèremètre thermique T. Tandis que l'aiguille de l'instrument *t* qui est placé dans le circuit de résonance oscille constamment, on constate que la déviation du thermique T demeure absolument fixe.

» L'énergie *totale* mise en jeu dans le circuit inductif conserve donc une valeur constante, mais elle se répartit en proportions différentes et sans cesse variables, entre les nombreuses *lignes* ou *bandes* du spectre électrique de l'arc.

» Dans les applications de l'arc de Poulsen à la télégraphie et à la téléphonie sans fil, il importe d'avoir une onde parfaitement pure, afin que la résonance soit aiguë.

» La solution ingénieuse qui a été indiquée par M. Colin, et dont il a su tirer un parti si heureux, consiste à utiliser des effets sélectifs en accordant un circuit intermédiaire de constantes convenables sur l'une des oscillations plus ou moins nombreuses qui ont pris spontanément naissance dans le circuit de l'arc. Ce circuit intermédiaire agit alors comme un *filtre* en permettant d'éliminer les oscillations qui ne correspondent pas à sa période propre, qui est

unique et bien déterminée, puisque c'est un circuit oscillatoire fermé.

» J'ai été conduit, pour obtenir une onde pure, à faire usage d'un procédé qui repose sur un principe tout différent et paraît intéressant à signaler, car il permet d'employer l'arc de Poulsen pour l'exécution de mesures en haute fréquence. Il est basé sur les considérations suivantes.

» L'arc de Poulsen ne donne naissance au phénomène complexe de production d'un cortège d'oscillations de périodes différentes, irrégulièrement distribuées en série discontinue, qu'autant que le circuit inductif dérivé présente une self-induction *très petite* par rapport à sa capacité.

» Il donne au contraire une oscillation unique, de période parfaitement déterminée, et *égale à la période propre du circuit dérivé* (pour un réglage convenable de la longueur de l'arc et de l'intensité du courant d'alimentation) quand le rapport de la capacité à la self-induction prend une valeur suffisamment faible.

» D'une manière générale, la stabilité est d'autant plus grande et les écarts possibles de régime (variation des constantes du courant d'alimentation, variation de la longueur de l'arc, etc.) peuvent être d'autant plus considérables, sans amener de variation de période, que le rapport $\frac{C}{L}$ est plus petit.

» Numériquement, il convient que le rapport $\frac{C}{L}$ ait *au plus* une valeur de $\frac{1}{10^3}$.

» Si l'on prend, par exemple, comme circuit inductif dérivé

$C = 1900 \text{ cm}$ (condensateur à lame d'air),

$L = 4,2 \cdot 10^5 \text{ cm}$ (12 spires de conducteur de 30 cm de diamètre),

on obtient une oscillation unique dont la période

$$T = 1,87 \cdot 10^{-6} \text{ (longueur d'onde } \lambda_0 = 560 \text{ m)}$$

est la période propre du circuit dérivé.

» Le rapport $\frac{C}{L}$, évalué en unités cohérentes, est alors égal à $\frac{1}{2,10^3}$, et le régime est d'une stabilité parfaite.

maxima, assez malaisés à déterminer, car la déviation du thermique subit des variations incessantes, se trouvent plutôt indiqués par

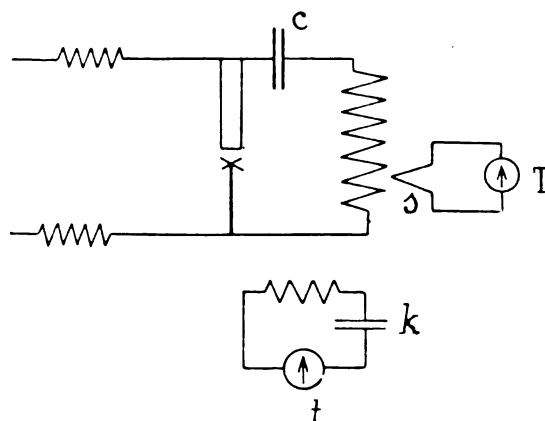


Fig. 1.

une amplitude plus considérable des *oscillations* de l'aiguille que par une *déviatiou* fixe plus grande que toutes les autres.

» Il est intéressant de faire agir en même temps par induction et *sans résonance* les oscillations sur un circuit fermé s constitué par une simple boucle de conducteur dans laquelle est intercalé un ampèremètre thermique T . Tandis que l'aiguille de l'instrument t qui est placé dans le circuit de résonance oscille constamment, on constate que la déviation du thermique T demeure absolument fixe.

» L'énergie *totale* mise en jeu dans le circuit inductif conserve donc une valeur constante, mais elle se répartit en proportions différentes et sans cesse variables, entre les nombreuses *lignes* ou *bandes* du spectre électrique de l'arc.

» Dans les applications de l'arc de Poulsen à la télégraphie et à la téléphonie sans fil, il importe d'avoir une onde parfaitement pure, afin que la résonance soit aigüe.

» La solution ingénieuse qui a été indiquée par M. Colin, et dont il a su tirer un parti si heureux, consiste à utiliser des effets sélectifs en accordant un circuit intermédiaire de constantes convenables sur l'une des oscillations plus ou moins nombreuses qui ont pris spontanément naissance dans le circuit de l'arc. Ce circuit intermédiaire agit alors comme un *filtre* en permettant d'éliminer les oscillations qui ne correspondent pas à sa période propre, qui est

unique et bien déterminée, puisque c'est un circuit oscillatoire fermé.

» J'ai été conduit, pour obtenir une onde pure, à faire usage d'un procédé qui repose sur un principe tout différent et paraît intéressant à signaler, car il permet d'employer l'arc de Poulsen pour l'exécution de mesures en haute fréquence. Il est basé sur les considérations suivantes.

» L'arc de Poulsen ne donne naissance au phénomène complexe de production d'un cortège d'oscillations de périodes différentes, irrégulièrement distribuées en série discontinue, qu'autant que le circuit inductif dérivé présente une self-induction *très petite* par rapport à sa capacité.

» Il donne au contraire une oscillation unique, de période parfaitement déterminée, et *égale à la période propre du circuit dérivé* (pour un réglage convenable de la longueur de l'arc et de l'intensité du courant d'alimentation) quand le rapport de la capacité à la self-induction prend une valeur suffisamment faible.

» D'une manière générale, la stabilité est d'autant plus grande et les écarts possibles de régime (variation des constantes du courant d'alimentation, variation de la longueur de l'arc, etc.) peuvent être d'autant plus considérables, sans amener de variation de période, que le rapport $\frac{C}{L}$ est plus petit.

» Numériquement, il convient que le rapport $\frac{C}{L}$ ait *au plus* une valeur de $\frac{1}{10^3}$.

» Si l'on prend, par exemple, comme circuit inductif dérivé

$C = 1900 \text{ cm}$ (condensateur à lame d'air),

$L = 4,2 \cdot 10^4 \text{ cm}$ (12 spires de conducteur de 30 cm de diamètre),

on obtient une oscillation unique dont la période

$$T = 1,87 \cdot 10^{-6} \text{ (longueur d'onde } \lambda_0 = 560 \text{ m)}$$

est la période propre du circuit dérivé.

» Le rapport $\frac{C}{L}$, évalué en unités cohérentes, est alors égal à $\frac{1}{2 \cdot 10^3}$, et le régime est d'une stabilité parfaite.

» Si l'on prend au contraire

$C = 2850 \text{ cm}$ (condensateur à lame d'air),

$L = 2,75 \cdot 10^4$ (soit 7 spires de la self-induction précédente),

constantes qui correspondent, pour le circuit, à une période propre de la même valeur

$$T = 1,87 \cdot 10^{-6}$$

que ci-dessus, mais à un rapport

$$\frac{C}{L} = \frac{1}{8,7 \cdot 10^3},$$

on voit bien apparaître encore à l'ondemètre une onde *voisine* de 560 m, mais l'aiguille du thermique subit des oscillations incessantes et d'autres ondes parasites commencent à se montrer.

» L'influence de la valeur du rapport $\frac{C}{L}$ sur la stabilité du régime oscillatoire de l'arc s'interprète aisément si l'on observe que l'amortissement varie, en général, dans le même sens que $\frac{C}{L}$.

» Un procédé rapide d'évaluation de la stabilité consiste à intercaler dans le circuit inductif dérivé des résistances non inductives croissantes jusqu'à produire l'arrêt des oscillations.

» On voit alors qu'on peut intercaler dans le circuit une quarantaine d'ohms dans le premier cas ($\frac{C}{L} = \frac{1}{2 \cdot 10^3}$) avant d'arrêter les oscillations, tandis que dans le second ($\frac{C}{L} = \frac{1}{8,7 \cdot 10^3}$) une dizaine d'ohms suffisent à amener ce résultat.

» On peut observer en passant que, dans le cas de l'arc de Poulsen, le circuit inductif dérivé peut présenter une résistance beaucoup plus grande que dans le cas de l'arc chantant, où l'on sait que la résistance du circuit dérivé ne doit pas dépasser 2 ohms.

» La condition énoncée : rapport $\frac{C}{L}$ petit, *suffit* à assurer la stabilité de l'arc de Poulsen tant qu'il fonctionne seul.

» Elle demeure encore suffisante si l'on n'extrait qu'une fraction faible de l'énergie mise en jeu.

» Mais, pour que cette fraction représente une quantité notable

d'énergie, il faut que le circuit en dérivation sur l'arc ait une *grande capacité*.

» Les deux conditions ne sont compatibles que si l'on emploie des ondes *longues*.

» S'il en est autrement, on est conduit, pour satisfaire à la première condition, à employer une *petite capacité* dans le circuit oscillatoire dérivé.

» Si l'on essaie alors d'extraire de l'énergie en associant ce circuit par couplage (non extrêmement lâche) à un système rayonnant accordé, l'arc devient de nouveau instable. L'instabilité se traduit par des variations brusques d'amplitude qui amènent rapidement, parfois instantanément, le *décrochage*, c'est-à-dire l'arrêt immédiat des oscillations.

» Pour permettre à des échanges d'énergie de se produire entre le circuit oscillatoire en dérivation sur l'arc (circuit 1) et un système rayonnant accordé, il convient d'associer au circuit dérivé de *faible capacité* un circuit auxiliaire de *grande capacité*.

» Ce circuit oscillatoire de grande capacité (circuit 2), étant mis en résonance avec le circuit 1, emmagasine de l'énergie d'une manière progressive à mesure qu'il entre en vibration et se comporte comme le *volant* d'un moteur en suppléant aux défaillances accidentelles du circuit 1 (').

» Son rôle n'est nullement d'exercer un effet sélectif sur des oscillations de périodes différentes ayant pris spontanément naissance dans le circuit de l'arc, puisque, indépendamment de lui, l'arc ne donne ici qu'une période unique.

» Il consiste simplement à permettre à des variations de régime de se produire dans le système rayonnant accordé (antenne) sans affecter le régime oscillatoire de l'arc.

» Le couplage des circuits 1 et 2 doit être tel que des réactions mutuelles se produisent entre eux, de sorte qu'ils puissent jouer alternativement le rôle de source d'énergie. Il convient qu'il ne soit pas trop serré, afin que l'oscillation produite par couplage

(') Des considérations analogues paraissent avoir conduit Ruhmer à employer à la fois en dérivation sur l'arc un circuit de *petite capacité* et un circuit de *grande capacité*.

conserve une période voisine de la période propre du circuit 1 de l'arc.

» Dans ces conditions, une seule oscillation, aussi pure et aussi stable que si le circuit 1 était seul, apparaît après couplage, *indistinctement* bien entendu, dans tout le système.

» L'expérience montre d'ailleurs qu'il n'en apparaît qu'une seule : c'est l'oscillation normale de couplage de période la plus longue, c'est-à-dire celle qui correspond à l'amortissement le plus faible.

» On a, par exemple :

Circuit 1.

$C = 1900 \text{ cm}$ (condensateur à lame d'air),

$L = 4,2 \cdot 10^4 \text{ cm}$ (12 spires).

Longueur d'onde unique de 1 : $\lambda_0 = 560 \text{ m}$.

Circuit 2.

Mis en résonance sur 1 à distance.

$C' = 25200 \text{ cm}$,

$L' = 3,15 \cdot 10^3 \text{ cm}$ (une seule spire).

Longueur d'onde propre du circuit 2 : $\lambda_0 = 560 \text{ m}$.

» Après couplage, longueur d'onde résultante : $\lambda'' = 600 \text{ m}$ (une seule onde sensible).

» Coefficient de couplage : $K = 0,13$.

» Si la période résultante ne diffère pas beaucoup de la période propre du circuit 1, l'amortissement résultant est sensiblement le même que celui des oscillations du circuit de l'arc, c'est-à-dire très faible.

» Dans l'exemple précédent, on avait pour l'onde de 560 m donnée par le circuit 1 seul

$$\text{Décroissement } \gamma = 0,050.$$

Et pour l'onde de 600 m obtenue par couplage

$$\text{Décroissement } \gamma = 0,055.$$

» C'est-à-dire des valeurs sensiblement identiques.

» Ces conditions générales conviennent également à la télégraphie ou à la téléphonie par arc.

» L'antenne doit, bien entendu, en pareil cas, être accordée sur la période résultante et couplée d'une manière assez lâche pour que la période du système demeure la même, soit qu'on couple l'antenne, soit qu'on ne la couple pas.

» Quand on emploie des ondes suffisamment *longues*, ou que l'on consent à n'extraire de l'arc qu'une fraction faible d'énergie, il suffit de faire usage du circuit 1 seul et de coupler simplement l'antenne à ce circuit.

» Nous avons pu vérifier, en effet, seulement à des distances moyennes il est vrai (nos expériences étant demeurées par la force des choses de simples expériences de laboratoire), qu'on obtient ainsi une transmission parfaitement claire de la parole.

» Le circuit 2 n'a à intervenir que lorsqu'on cherche à extraire de l'arc une quantité d'énergie notable.

» Le réglage des circuits est d'ailleurs des plus simples et peut être méthodiquement exécuté avec un ondemètre en s'inspirant des règles suivantes, qui résultent des considérations développées ci-dessus :

» 1^o Constituer le circuit 1 avec une self-induction L et une capacité C telles que la période ait la valeur qu'on s'est fixée (en tenant compte du couplage) et que le rapport $\frac{C}{L}$ soit inférieur à $\frac{1}{10}$;

» 2^o Constituer le circuit 2 avec une self-induction L' et une capacité C' telles que, $C'L'$ étant égal à CL , la capacité C' ait la valeur la plus grande possible ;

» 3^o Coupler l'antenne, accordée à l'aide d'une self auxiliaire convenable, indifféremment avec le circuit 1 ou 2, en couplage assez lâche pour que la période demeure la même, soit qu'on couple l'antenne, soit qu'on ne la couple pas.

» On arrive ainsi au montage dont le schéma est donné ci-joint.

» En ce qui a trait plus particulièrement à la téléphonie, on sait qu'on peut opérer en intercalant simplement le microphone en série dans l'antenne. Dans ces conditions (qui diffèrent d'ailleurs de celles

que décrivait tout à l'heure M. Colin), il ne paraît y avoir aucun intérêt *a priori* à associer plusieurs microphones, soit en série, soit en parallèle.

» Les conditions optima de transmission se trouvent remplies, ainsi que l'expérience permet de le constater, lorsque *la résistance du microphone est égale à la résistance d'émission de l'antenne*; c'est-

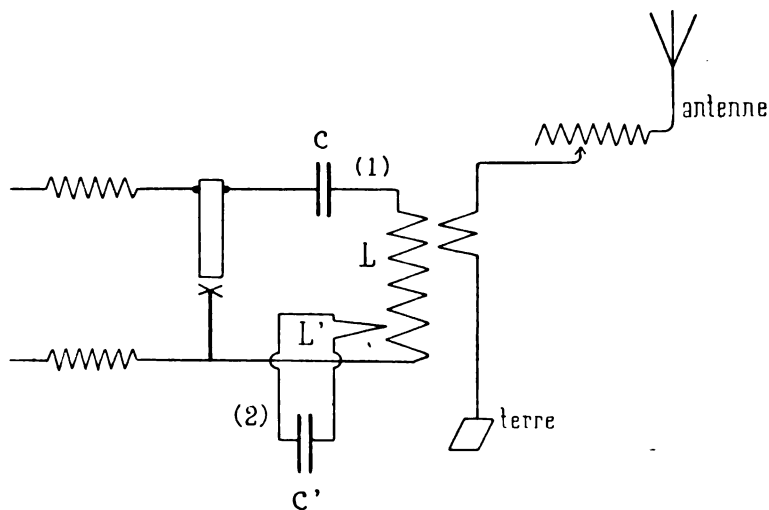


Fig. 2.

à-dire lorsque l'insertion du microphone à la base de l'antenne réduit le courant à la moitié de sa valeur primitive. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Tissot de ses importantes indications.

La séance est levée à 11^h.

APPLICATION DU RHÉOGRAPHE A L'ÉTUDE DE DIVERS PHÉNOMÈNES (1).

I. — HYSTÉRÉSIGRAPHE DE PROJECTION ABRAHAM-CARPENTIER.

M. HENRI ABRAHAM. — « L'appareil que j'ai l'honneur de présenter aujourd'hui à la Société a pour objet le tracé instantané de la courbe d'hystérésis d'un échantillon de fer soumis à un champ magnétisant alternatif de fréquence industrielle.

» Tel que vous le verrez fonctionner ce soir, il permet de projeter à grande échelle une courbe très lumineuse qui est la courbe classique d'hystérésis, ayant pour abscisses les champs magnétisants et pour ordonnées les inductions magnétiques correspondantes.

» Pour le moment, je me contente de vous soumettre cet hystérésigraphe à titre d'appareil de cours, d'instrument de démonstration. Avec la collaboration des ateliers Carpentier, il en est fait maintenant une étude particulière, dans l'espoir de pouvoir l'utiliser pour l'exécution de mesures magnétiques précises.

» L'échantillon de fer étudié est placé dans une bobine magnétisante. On peut par exemple, et c'est ce que nous faisons ce soir, prendre le montage en forme d'anneau, avec lequel le champ magnétique H est exactement proportionnel à l'intensité du courant magnétisant. Ce courant magnétisant est envoyé en même temps dans un premier *rhéographe* monté en *ampèremètre*.

» Un deuxième *rhéographe* est monté en *fluxmètre*, c'est-à-dire que quelques tours de fil induit, bobinés autour de l'échantillon de fer, sont mis en connexion directe avec les bornes du rhéographe.

» Dans ces conditions, les déviations des deux appareils sont, à chaque instant, proportionnelles, l'une au champ magnétisant H et l'autre à l'induction moyenne à travers les spires induites. Il n'y a plus qu'à combiner optiquement les deux déviations pour tracer sur un écran la courbe d'aimantation du fer.

» Avant d'aller plus loin, permettez-moi de rappeler les expériences déjà anciennes de Braun qui, pour la première fois je crois, ont permis de voir des tracés instantanés d'hystérésis. Vous savez que ces tracés étaient obtenus en déviant magnétiquement un fais-

(1) Communication présentée à la séance du 2 juin 1909.

seau cathodique, à la fois par le champ magnétisant et par le champ magnétique dû au fer aimanté. Je rappellerai aussi le *traceur de courbes* d'Ewing, donnant par points la courbe d'aimantation, et les expériences plus récentes de Morris et Catterson Smith (*Journ. of the Inst. of Electr. Engineers*, Vol. XXXIII, août 1904, p. 1019) qui ont utilisé une ingénieuse disposition de circuits comportant deux oscillographes et permettant d'avoir à *peu près* (mais non exactement) des courbes d'hystérésis.

- » Je reviens maintenant à la description des expériences de ce soir.
- » La combinaison optique que j'ai adoptée est celle-ci :
- » Le premier rhéographe est placé dans sa position ordinaire,

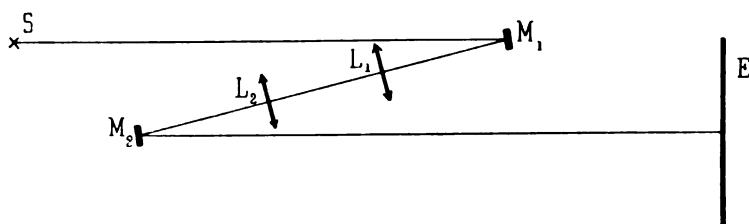


Fig. 1.

avec axe d'oscillation vertical (*fig. 1*). Son miroir vibrant M_1 reçoit directement les rayons d'un point lumineux fixe S , fourni par une lanterne de projection quelconque. Le miroir vibrant de ce rhéographe est placé au foyer d'une lentille convergente L_1 ($F = 20\text{ cm}$). Un peu au delà se trouve une seconde lentille identique L_2 ; puis, au foyer de cette lentille, le miroir vibrant M_2 du second rhéographe. Ce dernier appareil est couché horizontalement, afin de faire vibrer les rayons lumineux dans un plan vertical. Les rayons réfléchis vont ensuite directement sur l'écran de projection E .

» Le réglage optique consiste uniquement à mettre au point en déplaçant l'ensemble formé par l'une des lentilles et le rhéographe placé à son foyer jusqu'à ce qu'on trouve sur l'écran l'image réelle du point lumineux fixe. Lorsque l'appareil fonctionne, cette image ponctuelle doit tracer sur l'écran la courbe d'hystérésis.

» Je fais passer le courant alternatif magnétisant, et vous voyez en effet la courbe d'hystérésis, qui se trace quarante-deux fois par seconde, apparaître en permanence sur l'écran, avec ses particularités essentielles, ses pointes extrêmes et les coudes accentués indiquant la saturation du fer.

**QUELQUES REMARQUES SUR L'ANALYSE DES PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES
PAR LES EXPÉRIENCES DE RÉSONANCE.**

II. — RHÉOGRAPHE DE PROJECTION ABRAHAM-CARPENTIER.

M. HENRI ABRAHAM. — « Le rhéographe double que vous avez
sous les yeux, et que la photographie (*fig. 1*) représente au cin-

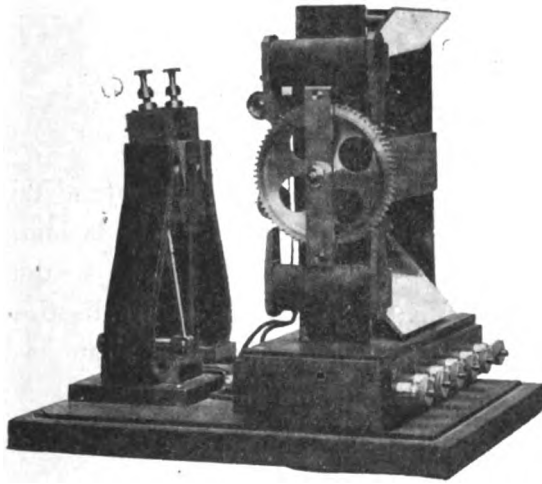


Fig. 1. — Rhéographe double de projection avec synchronoscope; échelle $\frac{1}{2}$.

qui è me de la grandeur d'exécution, se compose de deux parties indé-
pendantes. A gauche de la figure, on voit la partie essentielle, le
rhéographe double proprement dit. A droite, se trouve un instru-
ment auxiliaire, le *synchronoscope*, destiné à étaler proportionnelle-
ment au temps, dans le sens vertical, le mouvement vibratoire hori-
zontal des faisceaux lumineux réfléchis par le rhéographe, et à
répéter périodiquement le tracé des courbes sur l'écran de pro-
jection.

» Il ne sera pas nécessaire d'insister ici sur ce *synchronoscope*
(voir *Journal de Physique*, avril 1909) qui pourrait être remplacé
par d'autres dispositifs optiques équivalents.

» Dans le *rhéographe de projection* proprement dit, l'organe
sensible est un cadre d'aluminium fermé sur lui-même et placé dans

un champ magnétique permanent, comme le cadre d'un galvanomètre d'Arsonval.

» Je rappellerai d'abord sommairement la théorie analytique de l'appareil.

» L'équation du mouvement du cadre est de la forme

$$A \frac{d^2 \theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt} + C \theta = P i.$$

» Si l'on veut que le cadre mobile suive exactement les variations d'une quantité électrique X , il est nécessaire que la valeur du courant i qui y circule soit d'autre part relié à cette quantité X par une équation de même forme,

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = Qi.$$

» Si aucun des termes du premier membre n'était négligeable, il faudrait donc envoyer dans le cadre mobile la somme de trois courants respectivement proportionnels à X et à ses deux dérivés. C'est cette solution plus générale mais d'une réalisation trop complexe que j'avais adoptée pour les premiers rhéographes (¹).

» Dans les nouveaux appareils, je me suis attaché à faire en sorte que le terme d'inertie $\left(A \frac{d^2 \theta}{dt^2}\right)$ ait une valeur prépondérante, tandis que les forces d'amortissement $\left(B \frac{d\theta}{dt}\right)$ et les forces directrices $(C \theta)$ sont rendues absolument négligeables. Ces conditions sont réalisées en suspendant le cadre au moyen d'un fil tendu ne donnant qu'un couple de torsion très faible, pour ne pas avoir trop de force directrice, et en n'utilisant comme champ magnétique que le champ d'un aimant permanent, pour n'avoir pas trop d'amortissement.

» Dans ces conditions, les choses se simplifient beaucoup. L'appareil ne nécessite aucun réglage : il n'y a qu'à créer dans le cadre un courant proportionnel à $\frac{d^2 X}{dt^2}$.

» Pour créer ce courant, on agit sur le cadre mobile exclusivement *par induction*. A cet effet, on utilise un courant auxiliaire Y circulant dans quelques tours de fil bobinés au voisinage immédiat du

(¹) *Bulletin de la Société des Électriciens*, 1897.

cadre d'aluminium; un noyau de fer feuilleté (*avec entrefer*) conduit le flux magnétique de ce circuit jusqu'au travers du cadre mobile. Les deux extrémités de l'enroulement fixe communiquent avec les bornes extérieures de l'appareil. Le cadre mobile et le circuit fixe forment ainsi un transformateur à induit mobile. L'appareil est représenté vu de face et vu de côté, à peu près au double de la grandeur d'exécution, par les figures 2 et 3.

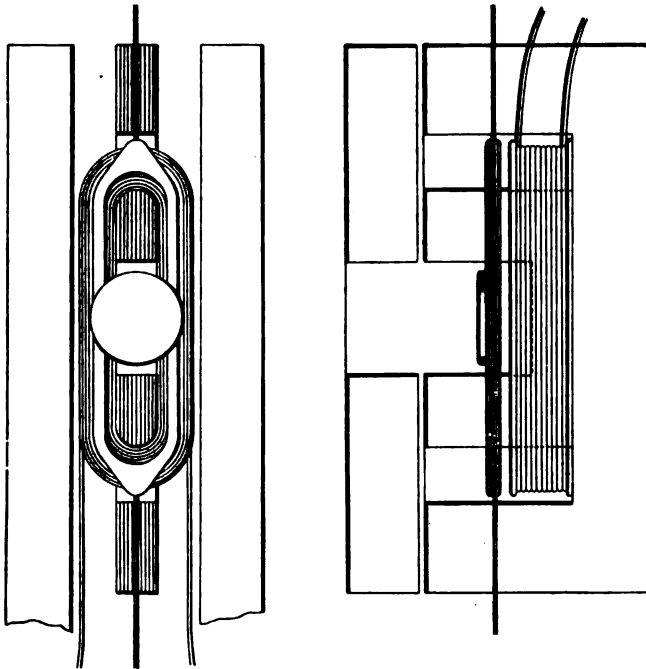


Fig. 2 et 3. — Transformateur à induit mobile vu de face et de côté; échelle $\frac{1}{2}$.

» Le fonctionnement de ce tout petit transformateur est différent de ce qu'on est habitué à voir se produire dans les transformateurs industriels. Tout d'abord la présence d'un entrefer notable fait que le flux total est pratiquement proportionnel aux ampères-tours, sans que l'hystérésis du fer ait trop d'influence ⁽¹⁾; les ampères-tours secondaires sont d'ailleurs négligeables devant les ampères-tours primaires, en raison des petites dimensions du circuit induit.

⁽¹⁾ Cette influence de l'hystérésis existe cependant; elle se fait surtout sentir dans le tracé des courbes à variations extrêmement rapides qui peuvent être sensiblement déformées.

La force électromotrice induite est alors proportionnelle à la dérivée du courant primaire. Enfin, la constante de temps $\frac{L}{R}$ du circuit induit étant extrêmement petite (quelques cent-millièmes de seconde), l'intensité du courant secondaire est à chaque instant proportionnelle à la force électromotrice induite.

» Nous pouvons donc dire que le courant créé dans le cadre mobile est proportionnel à la dérivée par rapport au temps, $\frac{dY}{dt}$, du courant auxiliaire Y .

» Le problème revient maintenant à amener de l'extérieur jusqu'aux bornes de l'appareil un courant dont l'intensité Y soit proportionnelle à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ de la quantité étudiée X .

» Le montage extérieur, toujours très simple, est un peu différent selon que X est une force électromotrice, une intensité ou un flux; mais *le rhéographe proprement dit reste toujours le même*. C'est pour cette raison que les rhéographes doubles sont formés de deux équipages identiques installés symétriquement (voir *fig. 1*) et qui servent indifféremment pour le tracé des courbes de nature quelconque.

» *Tracé d'une courbe de tension.* — Il n'y a qu'à intercaler un condensateur entre les pôles du réseau et les bornes de l'appareil (un demi-microfarad pour 110 volts). Le courant qui traverse le rhéo-

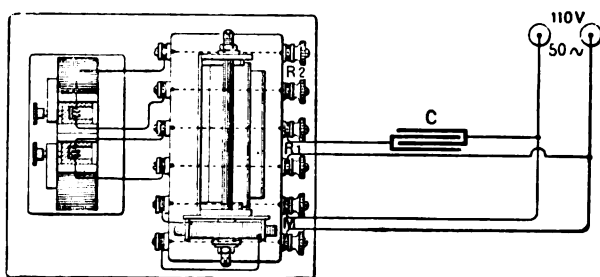


Fig. 4. — Tracé d'une courbe de tension, diagramme des connexions.

graphe est alors le courant de charge du condensateur, et il est proportionnel à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ de la différence de potentiel X étudiée. La figure 4 donne le diagramme de ce montage pour un rhéographe

double dont le synchronoscope a son moteur synchrone *M* actionné par le réseau.

» *Tracé d'une courbe de courant.* — C'est le diagramme de la figure 5 qu'on réalise. On emploie un petit transformateur asta-

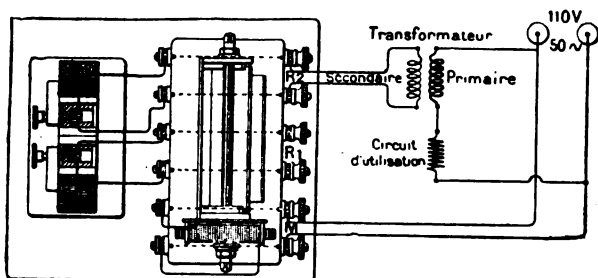


Fig. 5. — Tracé d'une courbe de courant, diagramme des connexions.

tique à deux noyaux magnétiques droits dont le circuit secondaire est relié aux bornes du rhéographe. Le mode de fonctionnement de ce petit transformateur est le même que celui du transformateur minuscule intérieur au rhéographe; le courant secondaire *Y* est proportionnel à la dérivée $\frac{dX}{dt}$ du courant principal *X* qui traverse le circuit primaire (').

» *Trace d'une courbe de flux.* — Le montage extérieur se réduit à un enroulement auxiliaire, placé dans le champ alternatif et qu'on met en série avec le rhéographe.

» *Théorie élémentaire du rhéographe.* — Je me bornerai au cas simple où la grandeur étudiée, flux, courant ou différence de poten-

(¹) Ici encore, cela cesserait assez brusquement d'être exact si les courants étaient assez forts pour amener l'aimantation des noyaux de fer au voisinage de la saturation, Aussi le transformateur est-il calculé de manière que cette intensité critique soit bien supérieure à celle que les enroulements peuvent supporter sans un échauffement prohibitif : on trouvera quelques renseignements sur l'exactitude des indications du rhéographe dans l'article déjà cité (*Journal de Physique*, avril 1909). L'emploi du fer dans les transformateurs est utile pour rendre l'appareil plus compact et mieux maniable, mais il introduit des perturbations. Pour de très grandes déviations, ou bien pour des variations extrêmement rapides, le tracé est moins correct que dans les modèles de rhéographes où la transformation est faite sans fer, et avec lesquels on peut obtenir une précision absolue de un cent-millième de seconde.

tiel, subit, en un temps très court, une variation finie. Puisque le cadre mobile suit réellement la variation brusque qu'on enregistre, c'est qu'il a été manœuvré ainsi : il a été lancé brusquement, par un choc brutal, puis, dès qu'il a eu tourné de l'angle voulu, il a été arrêté par un choc égal.

» Par quel mécanisme les circuits électriques ont-ils produit ces actions ?

» Si l'on examine d'abord les montages extérieurs à l'appareil, on voit que leur rôle se ramène, dans le cas actuel, à faire passer brusquement dans le rhéographe une quantité d'électricité proportionnelle à la variation instantanée initiale. Cela est manifeste, par exemple, pour le tracé d'une courbe de tension, puisque, pour une variation instantanée E de cette tension, une charge CE se rend dans le condensateur à travers le rhéographe.

» Que se passe-t-il maintenant dans l'appareil ? Le passage de la charge CE ne se fait pas en un temps nul, mais au moyen d'un courant qui dure quelques cent-millièmes de seconde. Le courant, d'abord nul, commence par croître très vite, puis il décroît et il s'éteint. Le flux magnétique croissant, puis décroissant, créé par ce courant, traverse le cadre d'aluminium et y développe deux courants induits successifs de sens contraires. C'est ce double courant induit qui, sous l'action du champ magnétique, lance brusquement le cadre avec une vitesse énorme, puis l'arrête un instant très court après l'avoir lancé, mais alors qu'une déviation finie est acquise.

» L'arrêt doit bien être complet, parce que les deux courants induits successifs débitent la même quantité d'électricité ⁽¹⁾. Et la déviation finale doit bien être proportionnelle à la variation brusque de la cause lointaine qui l'a produite, puisque tous les courants qu'il y a eu à considérer sont proportionnels à cette variation.

» Le fonctionnement du rhéographe se trouvant ainsi expliqué pour le cas d'une variation finie et instantanée de la quantité étudiée, le cas général d'une variation continue se comprend sans nouvelles explications, puisque cette variation continue peut être considérée

(1) C'est ici que l'action perturbatrice du fer est la plus grande : si le fer reste aimanté sensiblement, les deux courants induits ne débitent pas la même quantité d'électricité, et l'arrêt de l'équipage mobile n'est plus complet.

comme une succession de variations instantanées finies, mais très petites.

ANALYSE DE LA COURBE DE FORCE ÉLECTROMOTRICE
DE LA DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE DU SECTEUR DE LA RIVE GAUCHE.

» Nous allons maintenant nous servir du rhéographe double qui est disposé ici pour analyser la courbe de tension du Secteur de la Rive gauche.

» Voici d'abord cette courbe de tension elle-même ⁽¹⁾ (*fig. 6*),

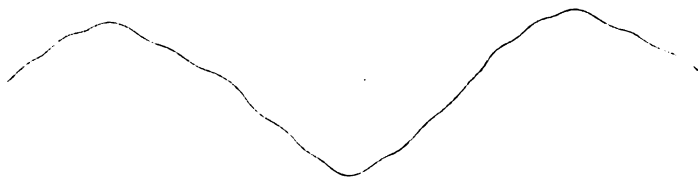


Fig. 6. — Courbe de tension du Secteur de la Rive gauche.

tracée avec l'un de nos rhéographes monté en voltmètre comme je l'indiquais tout à l'heure.

» Avec le second rhéographe, nous relèverons des intensités de courant.

» Prenons d'abord le courant à travers une résistance sans self-induction. Vous voyez que la courbe a même forme que la courbe de tension. Vous voyez même qu'en agissant sur la suspension des cadres mobiles je puis arriver à faire coïncider les deux courbes presque rigoureusement. C'est là un contrôle intéressant de la légitimité des dispositifs électriques qui viennent de nous servir, car les deux courbes *doivent* réellement être extrêmement peu différentes; et si nous arrivons à les faire ainsi se superposer, cela peut

(¹) Les expériences ont été faites en séance en projetant directement les courbes sur un écran. Les reproductions du présent Mémoire ont été obtenues de la manière suivante. Les courbes sont projetées à une échelle modérée (30^{cm} à 40^{cm}) sur un *bloc-notes*. On dessine à la main la courbe lumineuse qui se trace sur le papier et c'est ce dessin qui est ensuite reproduit. Cette manière de tracer les courbes lumineuses à la main, en les projetant sur un *bloc-notes*, est assurément moins précise que la photographie, mais elle est extrêmement commode; l'expérience se fait en plein jour: c'est peut-être la manière la plus pratique de relever ce genre de documents quand on n'a pas besoin de précision.

nous donner une certaine confiance dans l'exactitude de chacune d'elles.

» Envoyons ensuite le courant dans une bobine de self-induction assez forte (0,5 henry) et de faible résistance. Comme nous nous y attendions, les menues ondulations de la courbe des volts disparaissent, le tracé est sensiblement sinusoïdal, et la courbe d'intensité est en retard de près d'un quart de période sur celle de la différence de potentiel aux bornes (*fig. 7*).

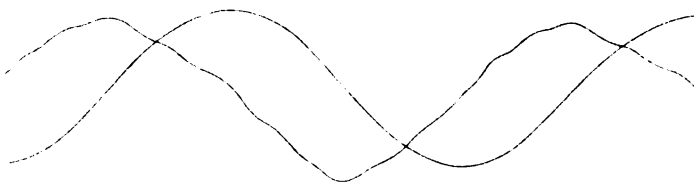


Fig. 7. — Courbe de tension et courbe de courant sur forte self-induction.

» Si, au lieu d'une self-induction, nous mettons en circuit une assez forte capacité (3,5 microfarads), le courant, dans son ensemble, est à peu près en avance de un quart de période sur la force électromotrice, mais les irrégularités de la courbe des volts sont violemment accentuées, la courbe n'a plus aucune ressemblance avec une sinusoïde (*fig. 8*).

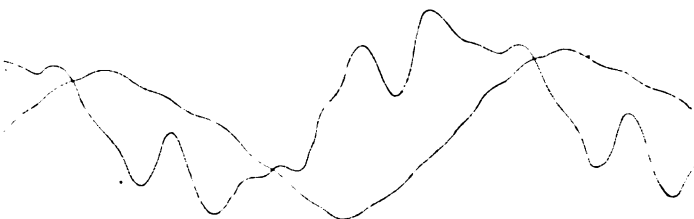


Fig. 8. — Courbe de tension et courbe de courant sur forte capacité.

» Comme on a coutume de le dire, la self-induction arrête les harmoniques en leur offrant une résistance apparente ($R = \omega L$) d'autant plus grande que leur fréquence est plus élevée, tandis que la capacité favorise leur passage puisque sa résistance apparente est en raison inverse de la fréquence du courant ($R = \frac{1}{\omega C}$).

» Recherchons maintenant ces harmoniques par la méthode de résonance, suivant le procédé de M. Armagnat [*Expériences avec l'oscillographe Blondel* (*Éclairage électrique*, t. XXX, 1902, p. 373)].

Mettons en circuit à la fois une capacité et une self-induction avec peu de résistance ohmique. En réglant ces deux éléments, nous voyons successivement se produire les différentes résonances corres-

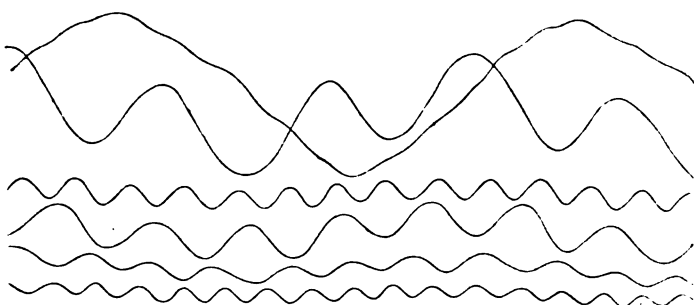


Fig. 9. — Courbe de tension et harmoniques de rangs 3, 5, 7, 9, 11.

pondant aux harmoniques successifs de la courbe. Voici, l'une après l'autre, les résonances ⁽¹⁾ sur les harmoniques 3, 5, 7, 9, 11 (fig. 9).

» *Remarques au sujet de l'analyse harmonique.* — Que pouvons-nous conclure de ces analyses harmoniques par résonance? Voici, évidemment, ce que nous sommes tentés de dire :

» Au moment de la résonance, l'intensité du courant

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left[\omega L - \frac{1}{\omega C} \right]^2}}$$

devient

$$I = \frac{E}{R}.$$

» Nous avons observé l'amplitude des oscillations au rhéographe ou à l'oscillographe, suivant la méthode de M. Armagnat, ou encore avec un électromètre, comme le faisait Pupin. Cette amplitude doit donc nous donner directement l'amplitude E de l'harmonique correspondant dans la courbe de force électromotrice. Et même,

(1) Les échelles sont différentes pour les divers harmoniques; elles sont à peu près dans les proportions de 2 à 3, pour les harmoniques 3 et 5, et à 6 pour les harmoniques 7, 9, 11. L'amplitude observée pour chaque harmonique varie beaucoup d'un moment à l'autre suivant l'importance et la nature des courants débités par la canalisation générale du Secteur de la Rive gauche.

nous donner une certaine confiance dans l'exactitude de chacune d'elles.

» Envoyons ensuite le courant dans une bobine de self-induction assez forte (0,5 henry) et de faible résistance. Comme nous nous y attendions, les menues ondulations de la courbe des volts disparaissent, le tracé est sensiblement sinusoïdal, et la courbe d'intensité est en retard de près d'un quart de période sur celle de la différence de potentiel aux bornes (*fig. 7*).

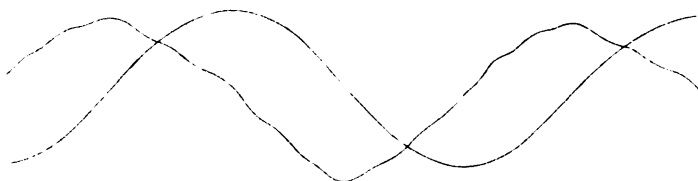


Fig. 7. — Courbe de tension et courbe de courant sur forte self-induction.

» Si, au lieu d'une self-induction, nous mettons en circuit une assez forte capacité (3,5 microfarads), le courant, dans son ensemble, est à peu près en avance de un quart de période sur la force électromotrice, mais les irrégularités de la courbe des volts sont violemment accentuées, la courbe n'a plus aucune ressemblance avec une sinusoïde (*fig. 8*).

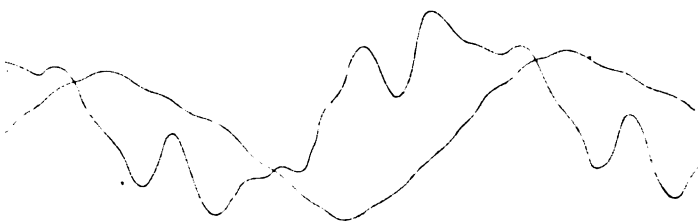


Fig. 8. — Courbe de tension et courbe de courant sur forte capacité.

» Comme on a coutume de le dire, la self-induction arrête les harmoniques en leur offrant une résistance apparente ($R = \omega L$) d'autant plus grande que leur fréquence est plus élevée, tandis que la capacité favorise leur passage puisque sa résistance apparente est en raison inverse de la fréquence du courant ($R = \frac{1}{\omega C}$).

» Recherchons maintenant ces harmoniques par la méthode de résonance, suivant le procédé de M. Armagnat [*Expériences avec l'oscillographe Blondel* (Éclairage électrique, t. XXX, 1902, p. 373)].

Mettons en circuit à la fois une capacité et une self-induction avec peu de résistance ohmique. En réglant ces deux éléments, nous voyons successivement se produire les différentes résonances corres-

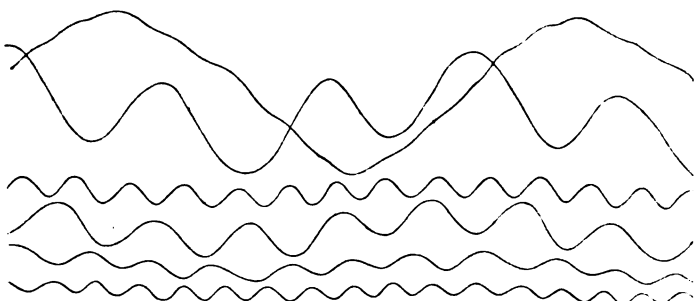


Fig. 9. — Courbe de tension et harmoniques de rangs 3, 5, 7, 9, 11.

pondant aux harmoniques successifs de la courbe. Voici, l'une après l'autre, les résonances ⁽¹⁾ sur les harmoniques 3, 5, 7, 9, 11 (fig. 9).

» *Remarques au sujet de l'analyse harmonique.* — Que pouvons-nous conclure de ces analyses harmoniques par résonance? Voici, évidemment, ce que nous sommes tentés de dire :

» Au moment de la résonance, l'intensité du courant

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left[\omega L - \frac{1}{\omega C} \right]^2}}$$

devient

$$I = \frac{E}{R}.$$

» Nous avons observé l'amplitude des oscillations au rhéographe ou à l'oscillographe, suivant la méthode de M. Armagnat, ou encore avec un électromètre, comme le faisait Pupin. Cette amplitude doit donc nous donner directement l'amplitude E de l'harmonique correspondant dans la courbe de force électromotrice. Et même,

(¹) Les échelles sont différentes pour les divers harmoniques; elles sont à peu près dans les proportions de 2 à 3, pour les harmoniques 3 et 5, et à 6 pour les harmoniques 7, 9, 11. L'amplitude observée pour chaque harmonique varie beaucoup d'un moment à l'autre suivant l'importance et la nature des courants débités par la canalisation générale du Secteur de la Rive gauche.

comme le dit avec raison M. Armagnat, la phase de la courbe de courant obtenue dans l'expérience de résonance ⁽¹⁾ donne la phase de l'harmonique sur la courbe de force électromotrice.

» Il semble donc qu'on a dû obtenir ainsi, en amplitude et en phase, tous les harmoniques de la courbe de force électromotrice.

» Ce raisonnement est fondé sur la décomposition algébrique en série de Fourier de la fonction qui représente la force électromotrice. Or, la légitimité de cette décomposition en série de Fourier n'est pas contestable; il est donc certain que, *au point de vue algébrique*, la méthode d'analyse harmonique, qui nous fait connaître tous les termes de la série de Fourier, nous donne une connaissance complète de toutes les particularités que peut présenter la courbe étudiée.

» Tout cela est analytiquement vrai. Je veux seulement faire observer que cette connaissance algébrique que nous acquérons ainsi ne nous apprend pas toujours directement des choses réellement intéressantes sur la forme visible de la courbe de force électromotrice, et sur les particularités de construction de la machine qui la produit.

» Pour pouvoir utiliser d'une manière complète la série de Fourier, il faudrait d'abord avoir *tous les termes* de cette série; et il peut y en avoir un très grand nombre, ayant une importance réelle, — et même une infinité.

» Il faudrait ensuite être un mathématicien assez habile pour voir d'un seul coup d'œil ce que signifie *physiquement* l'ensemble de coefficients de la série.

» Si je prends, par exemple, la série

$$y = \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots,$$

j'avoue que j'ai quelque peine à voir d'un seul coup d'œil s'il est vrai qu'elle représente la courbe de la figure 10, plutôt que celle de la figure 11 pour laquelle les coefficients différeraient seulement par les facteurs 1, 3, 5,

(1) Cette détermination de la phase est très délicate. Elle exige un réglage précis de la résonance, puisqu'au voisinage immédiat de la résonance la phase du courant varie presque brusquement d'une demi-période.

» Mais prenons encore un autre exemple.

» Voici (fig. 12) une période de sinusoïde suivie d'un temps de courant nul de même durée, l'ensemble se répétant indéfiniment.

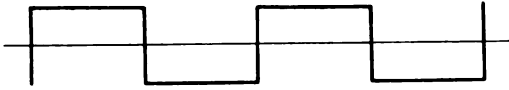


Fig. 10.

Que donnera la série de Fourier? Si a est l'ordonnée maximum de la sinusoïde isolée, on voudrait trouver ce qu'on voit, c'est-à-dire

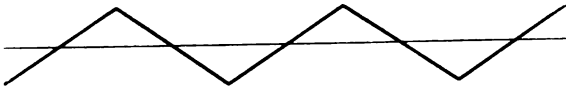


Fig. 11.

l'harmonique 2 pendant la moitié du temps et avec l'amplitude a , et rien d'autre, ni note fondamentale, ni harmoniques supérieurs.

» Mais ce n'est pas du tout ce que donne le calcul. L'harmonique



Fig. 12.

de rang 2 n'aura, dans la série, qu'une amplitude, $\frac{a}{2}$, moitié de celle qu'on attendait. Par contre, nous aurons la note fondamentale avec une amplitude voisine de $\frac{a}{5}$, puis une multitude d'harmoniques supérieurs ayant tous des amplitudes finies.

» Assurément un tel développement ne ressemble *physiquement* en rien à la courbe dont nous sommes partis.

» Supposez, je vous prie, que la période complète de la courbe représente deux fois 24 heures.

» Que nous dit la courbe? Elle nous dit que l'alternateur a travaillé hier pour tracer une sinusoïde, mais qu'il se repose aujourd'hui toute la journée, et qu'il ne reprendra que demain.

» Que nous dit au contraire la série trigonométrique? Elle prétend qu'aujourd'hui l'alternateur travaille comme hier, qu'il fournit un peu de note fondamentale, un peu d'harmonique 2, un peu d'harmo-

niques supérieurs, ..., *mais que la somme de ces courants est nulle!*

» Eh bien, je crois que vous serez d'accord avec moi pour dire qu'une pareille représentation est quelque peu illusoire : il n'y a pas ici une agitation violente et complexe d'un alternateur qui, au total, ne fournit rien ; il y a tout simplement un alternateur arrêté.

» *Les résonances et la série de Fourier.* — La série de Fourier a cependant, jusqu'à un certain point, un sens physique à l'égard des phénomènes de résonance.

» Si une force électromotrice alternative est représentée par

$$y = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum A_n \sin(n\omega t + \varphi_n),$$

et si elle actionne un circuit oscillant (R, L, C) à capacité réglable, on a pour une série de valeurs de la capacité C des résonances qui peuvent être très nettes, et les amplitudes des courants obtenus sont proportionnelles aux coefficients A de la série, *pourvu que le circuit oscillant soit extrêmement peu amorti.*

» Le mécanisme de cette résonance est facile à comprendre. Lorsqu'on établit le courant principal, le circuit oscillant part du repos et se met progressivement en mouvement, au fur et à mesure que les périodes du courant principal défilent en lui communiquant l'une après l'autre des impulsions qui s'ajoutent. Les oscillations ainsi produites étant peu amorties, leur amplitude augmente d'abord proportionnellement au temps, et cela pendant assez longtemps, jusqu'à ce que l'amortissement se fasse sentir et que les vieilles oscillations qui meurent soient remplacées par les impulsions nouvelles qui arrivent tour à tour. On est alors au régime permanent pour lequel l'intensité efficace du courant se calcule comme s'il n'y avait en circuit qu'une résistance ohmique, et cette intensité efficace est à peu près proportionnelle au coefficient A_n de la série de Fourier.

» L'intensité efficace obtenue est d'autant plus correctement proportionnelle à A que le circuit oscillant est mieux capable de filtrer les harmoniques de rangs différents, c'est-à-dire que sa constante de temps $\frac{L}{R}$ est plus élevée. Pour avoir une analyse un peu précise de la force électromotrice par le phénomène de résonance,

il faut donc avoir une grosse self-induction contenant un grand nombre de kilogrammes de cuivre, et plus cette self-induction sera lourde, plus l'analyse sera correcte (¹).

» On voit ainsi le *sens physique* des termes de la série de Fourier dans les phénomènes de résonance. Avec l'alternateur de tout à l'heure qui marchait la moitié du temps (*fig. 12*), nous pouvons actionner un circuit en résonance. Pendant les périodes d'arrêt de l'alternateur, le résonateur continuera à osciller par suite des impulsions reçues antérieurement. Comme il sera peu amorti, les oscillations y resteront égales, aussi bien pendant les périodes de marche que pendant la période d'arrêt; et ce phénomène physique des oscillations sera l'image du terme correspondant de la série trigonométrique.

» Il faut cependant faire encore de nouvelles réserves.

» *Influence de l'amortissement du résonateur.* — A mesure que l'on augmente le poids de cuivre, ou, d'une manière générale, à mesure que le résonateur employé a une note propre plus pure, la résonance devient plus difficile à établir, parce que la période d'établissement dure plus longtemps.

» Nous savons, en effet, que, pendant un temps de l'ordre de $\frac{L}{R}$, l'amplitude du courant en résonance augmente proportionnellement au temps, et qu'il faut attendre plusieurs fois ce temps pour que la résonance soit établie en régime permanent. Si donc on fait croître la constante de temps $\frac{L}{R}$, la période d'établissement devient de plus en plus longue.

» L'établissement complet de la résonance est alors à la merci des moindres perturbations. Si, au bout du temps $\frac{L}{R}$, l'alternateur subit brusquement une petite variation de phase, les impulsions ne sont

(¹) Si la bobine de self est insuffisante, les harmoniques sont mal séparés. Le circuit oscillant étant en résonance sur un harmonique, si l'harmonique voisin est un peu fort et s'il est mal éteint, les deux harmoniques coexistent et donnent par leur interférence un courant d'amplitude variable reproduisant électriquement le phénomène des battements bien connu en acoustique (*voir* le travail de M. Armagnat, cité précédemment : *Éclairage électrique*, t. XXX, 1902, p. 373).

plus en phase avec le courant déjà acquis provenant des impulsions antérieures. Ce courant, au lieu d'augmenter, peut alors décroître et s'éteindre, et, de nouveau, tout est à refaire pour la mise en train de la résonance. C'est pour la même raison qu'il n'est pas possible d'avoir un régime permanent avec un diapason excité par du courant alternatif synchrone de ses vibrations propres.

» Il peut même arriver que la constante de temps $\frac{L}{R}$ soit plus grande que la durée totale de l'expérience elle-même : la résonance n'est alors jamais atteinte. Le circuit oscillant se met en branle progressivement et l'intensité du courant alternatif augmente proportionnellement au temps pendant toute la durée du train d'onde principal. Le circuit résonant oscille ensuite avec sa période propre et un amortissement exponentiel.

» Nous retrouvons ici l'image exacte du jeu de l'escarpolette et le phénomène bien connu de la résonance multiple des ondes hertziennes.

» Ce phénomène se présente constamment en télégraphie sans fil; c'est une règle que savent bien, ou que devraient savoir, ceux qui ont à faire des réglages de circuits de télégraphie sans fil : il ne faut pas chercher à faire de résonances avec des circuits à grande self et à petite capacité ⁽¹⁾, à moins que ces circuits ne contiennent par eux-mêmes des résistances ohmiques considérables ⁽²⁾, ou qu'on ait affaire à des émissions d'ondes très peu amorties.

(1) Pendant la période d'établissement du courant, et au bout d'un temps t , l'amplitude du courant en résonance est indépendante de la résistance et vaut $\frac{Et}{2L}$. A cet instant précis, l'amplitude est la même que s'il y avait en circuit une résistance ohmique valant $\frac{2L}{t}$. On doit donc éviter de prendre une self-induction trop forte dont le seul effet est de réduire l'intensité qu'on aurait eue, à la fin du passage du train d'ondes, si l'on avait pris une self plus faible.

(2) Les montages les plus avantageux sont généralement ceux pour lesquels les constantes du type $\frac{2L}{t}$ sont comparables aux résistances ohmiques des circuits. En particulier, dans l'emploi des détecteurs, il est purement absurde de chercher à comparer leur sensibilité en les substituant l'un à l'autre dans un même montage : personne n'aurait l'idée de comparer la sensibilité absolue de deux ampèremètres sans se préoccuper de l'importance des résistances du circuit. La combinaison de circuits doit être dans chaque cas celle qui donne le rendement maximum en tenant

» Ainsi donc, moyennant quelques réserves, la décomposition algébrique, suivant les termes de la série de Fourier, traduit assez bien l'analyse harmonique faite à l'aide de résonateurs donnant des notes propres extrêmement pures, c'est-à-dire dans lesquels un phénomène oscillatoire se maintient de lui-même pendant un grand nombre de périodes.

» Mais, si la série de Fourier donne bien la représentation des harmoniques qui peuvent être excités par résonance, les termes de cette série ne font pas nécessairement connaître la *structure physique* du phénomène étudié. »

M. le PRÉSIDENT remercie très vivement M. Abraham et le félicite du succès de ses expériences; il espère que ses appareils pourront être prochainement utilisés par les savants et les électriciens pour des mesures précises.

compte de la résistance ohmique du détecteur et de la résistance apparente d'amortissement propre de l'antenne. On doit alors employer des self-inductions d'autant plus faibles que la résistance du détecteur est plus faible. Dans ces conditions, le calcul et l'expérience s'accordent pour montrer qu'un même détecteur peut paraître plus ou moins sensible qu'un autre selon qu'on les compare dans des circuits résonants à self grande ou petite. Il est facile de constater, par exemple, qu'un groupe de 20 détecteurs électrolytiques montés en parallèle est moins sensible qu'un seul d'entre eux quand on emploie un circuit résonant à self relativement élevée; tandis que le même groupe de 20 détecteurs est beaucoup plus sensible que le détecteur unique quand la comparaison est faite avec un circuit résonant à self plus petite appropriée à la faible résistance des groupes des 20 détecteurs.

BIBLIOGRAPHIE.

Éléments de la théorie des probabilités, par E. BOREL. 1 volume 25^{cm} × 16^{cm},5 de 191 pages, avec 18 figures. A. Hermann et fils, éditeurs, Paris.

A première vue ce Livre paraîtra peut-être présenter un intérêt assez modéré pour des électrotechniciens. Mais une telle opinion devient injustifiée si l'on songe aux services que la théorie des probabilités a déjà rendus à ceux qui s'occupent de sciences telles que la Physique, la Biologie, les sciences économiques, etc. Ces applications deviennent chaque jour de plus en plus nombreuses, mais les personnes qui s'y intéressent n'ont pas toujours les loisirs d'étudier à fond les théories mathématiques. Comme le déclare l'Auteur dans sa Préface, ce qui leur importe surtout, c'est, avec la connaissance des résultats essentiels, celle des méthodes générales par lesquelles ces résultats sont obtenus. Il est, en effet, évidemment nécessaire d'avoir réfléchi sur ces méthodes pour pouvoir appliquer avec sûreté les résultats du calcul à des questions concrètes.

C'est dans le but de permettre la réalisation du programme ainsi tracé que ces *Éléments* ont été écrits. Ils peuvent être lus d'un bout à l'autre par un lecteur connaissant simplement la *définition de l'intégrale définie*, et les notions d'Algèbre et de Géométrie que cette définition suppose acquises.

D'un autre côté, l'Auteur insiste longuement sur les problèmes les plus simples, dans lesquels le mécanisme du calcul ne dissimule pas la méthode suivie.

Mais, s'il a tenu à demeurer élémentaire, il a éliminé les développements de science amusante.

Il lui a été ainsi possible de donner sous une forme très condensée les principes essentiels de la théorie.

Dans le Livre I, se trouve exposée la théorie des *probabilités discontinues*; l'Auteur s'est attaché à mettre en évidence la véritable signification de la *loi des grands nombres*.

Le Livre II est consacré aux *probabilités continues* ou *probabilités géométriques*. Cette catégorie de probabilités trouve des applications importantes dans les théories de la physique moderne, et l'auteur traite un exemple intéressant à propos de la théorie cinétique des gaz.

Enfin, dans le Livre III, sont groupées les questions relatives à la *probabilité des causes*. C'est à cette théorie que se rattachent les problèmes statistiques, les études biométriques, etc., et les exemples d'applications fournis à ce propos par l'Auteur sont remplis d'intérêt.

Tel est, résumé très succinctement, le contenu des treize Chapitres que contient le présent Ouvrage. La notoriété de l'Auteur nous dispense d'ailleurs de nous étendre sur la valeur du texte, que beaucoup d'entre nous liront avec intérêt et profit.

LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

**La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours,
de 3 heures à 6 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.**

France.

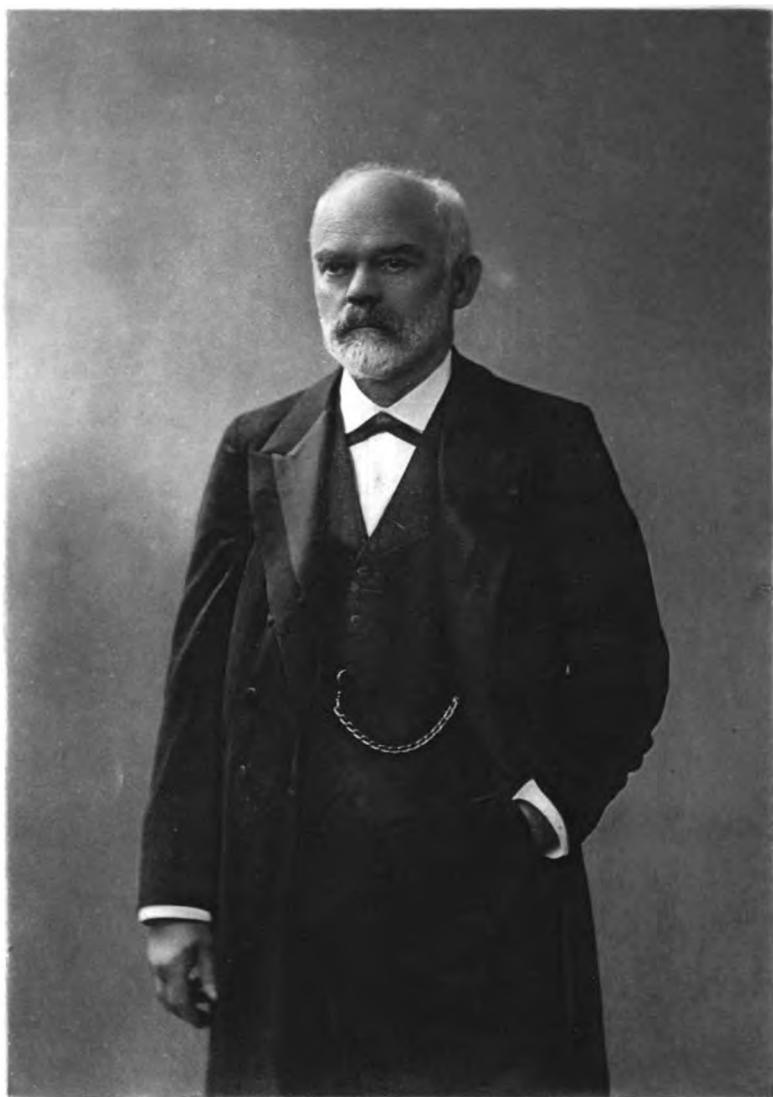
- Congrès international des Applications de l'Électricité (Marseille, 1908),*
publié par les soins de M. H. ARMAGNAT. Paris, Gauthier-Villars, 1909;
3 vol. in-8, brochés. (*Don du secrétaire général du Congrès.*)
- Électricité agricole*, par A. PETIT. Introduction par le Dr P. REGNARD. Paris,
J.-B. Baillière et fils, 1909; 1 vol. in-18, broché (*Encyclopédie agricole*).
(*Don des éditeurs.*)
- Service d'études des grandes forces hydrauliques (région des Alpes);*
compte rendu et résultats des études et travaux au 31 décembre 1907.
Tome III. Paris, Dunod et Pinat, 1908; 1 vol. grand in-8, broché (*Minis-*
tère de l'Agriculture. Direction de l'Hydraulique et des Améliorations
agricoles). (*Don des éditeurs.*)
- Téléphonie (La)*, par ÉMILE PIÉRARD; 3^e édition. Tome I : *Les lignes télé-*
phoniques. Bruxelles, Ramlot; Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. in-8,
broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Théorie (La) des courants alternatifs*, par ALEXANDRE RUSSELL. Traduit de
l'anglais par G. SELIGMANN-LUI. Tome I. Paris, Gauthier-Villars, 1909;
1 vol. in-8, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Transport (Le) à Paris des forces motrices du Rhône. Aperçu critique du*
Rapport de la Commission de la houille blanche et des conditions finan-
cières de l'entreprise. par E. BARTHELEMY. Paris, Gauthier-Villars, 1909;
1 brochure in-16. (*Don de l'auteur.*)
- Trucs (Les) du théâtre, du cirque et de la foire*. par MAX DE NANSOUTY.
Paris, Armand Colin, 1909; 1 vol. in-8 écu, broché. (*Don de l'éditeur.*)

Étranger.

Kapazität und Induktivität. Ihre Begriffsbestimmung, Berechnung und Messung, von Dr ERNST ORLICH. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1909; 1 vol. in-8, broché (*Elektrotechnik in Einzel-Darstellungen*, Heft 14). (*Don des éditeurs.*)

Transformatoren (Die). Ihre Wirkungsweise, Konstruktion, Prüfung und Berechnung, von Dr GUSTAV BENISCHKE. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn, 1909; 1 vol. in-8, broché (*Elektrotechnik in Einzel-Darstellungen*, Heft 15). (*Don des éditeurs.*)





E. MASCART

1837 - 1908

Imp. Geny-Grosbois

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

La vie et les œuvres de E. Mascart (M. P. Janet), p. 481. — Note sur les liaisons des postulats de la Mécanique avec les équations dites *de dimensions* des grandeurs électriques (M. P. Juppont), p. 529. — Quelques réflexions sur les propositions de M. Juppont (M. Brylinski), p. 553.

ECOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ. — Liste des élèves ayant obtenu le diplôme d'ingénieur électricien, p. 563.

LA VIE ET LES ŒUVRES DE E. MASCART.

« Mascart (Éleuthère-Élie-Nicolas) naquit le 20 février 1837, à Quarouble (Nord), à quelques kilomètres de Valenciennes et de la frontière belge; son père était instituteur; aussi loin qu'on pouvait remonter, la famille Mascart n'avait pas quitté le petit village, et était restée attachée à cette terre un peu rude, au ciel gris, au sous-sol creusé par les mines, à la culture uniforme des champs de betterave qui s'étendent à perte de vue, à l'industrie active des forges et des hauts fourneaux. Depuis 1659, de père en fils, la charge de clerc de la paroisse et de maître d'école, puis plus tard de secrétaire de l'état civil, se transmettait sans interruption dans cette famille, qui représentait évidemment l'élite intellectuelle du bourg; le père était l'autorité suprême et respectée; les traditions se conservaient.

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

» C'est de ce milieu obscur et modeste que sortit l'homme dont le nom devait être un des plus grands de la science française, et qui, par son seul mérite, devait s'élever aux situations les plus hautes : ainsi des réserves d'énergie sont lentement accumulées par la patiente Nature dans les régions les plus saines et les plus fortes de l'humanité, pour s'épanouir à de rares intervalles, comme la floraison de ces plantes puissantes qui n'apparaît qu'une fois tous les siècles.

» Mascart avait un frère, plus âgé que lui de quelques années ; les deux enfants étaient intelligents, l'école paternelle ne leur suffit bientôt plus ; l'ambition du père s'éleva jusqu'à les envoyer au Collège de Valenciennes, grave problème pour ses modestes ressources.

» Une misérable mansarde sous les combles fut louée ou prêtée dans le voisinage du Collège ; tous les lundis matin, par les froids hivers du Nord, les deux enfants parcouraient à pieds les sept kilomètres qui séparent Quarouble de Valenciennes, chargés du pain et du fromage qui, pour le reste de la semaine, devaient seuls faire leurs repas du soir ; la propriétaire de la mansarde leur préparait la soupe de midi ; et lentement, année par année, les études classiques se poursuivaient ainsi pour les deux frères, étroitement associés dans des efforts communs.

» Une telle vie est une forte école d'énergie et prépare des caractères trempés pour la lutte ; lorsque l'aîné des deux enfants fut en âge d'avoir sa volonté et sa personnalité, un drame que nous ne pouvons que soupçonner éclata dans la famille : le père, autoritaire et rigide, se croyant encore aux temps anciens, avait destiné son fils aux ordres et prétendait lui imposer sa volonté ; le jeune homme n'avait pas la vocation ; il s'éloigna et partit seul pour Paris ; ce que fut la vie de ce jeune homme de seize ans, isolé dans la grande ville, sans ressources, plein d'intelligence et d'énergie, nous n'avons pas à le raconter ici ; à force de ténacité, gagnant son pain, sans passer par aucune école, il s'engagea, et s'éleva seul au grade de capitaine du génie : il mourut jeune, au retour des colonies, en 1869.

» Ce fut là une ombre qui toujours assombrit Mascart, étroitement lié d'affection avec ce frère aîné qui avait partagé avec lui les peines et peut-être aussi, car il y en a toujours, les joies de l'enfance.

» Plus heureux, il put continuer ses études. Frappé par les aptitudes des deux frères, M. Cromback, principal du Collège, les avait pris comme boursiers deux ans après le commencement de leurs études; c'était un peu de sécurité pour l'avenir; mais que de chemin restait encore à parcourir!

» Mascart arriva ainsi aux baccalauréats ès lettres et ès sciences, qu'il passa en 1855 et 1856; son père jugea qu'il avait assez fait pour lui, et lui signifia qu'il avait désormais à gagner sa vie; à 19 ans, il entra comme maître répétiteur au Lycée de Lille et, l'année suivante, à la fin de 1857, il passa dans les mêmes fonctions au Lycée de Douai; comme l'avait fait le principal de Valenciennes, le proviseur de Douai, M. Fleury, s'intéressa à lui; c'était un homme de grande valeur, universitaire dans l'âme; il engagea Mascart à se diriger du côté de l'École Normale, dont il était lui-même sorti; grâce à son aide, Mascart put mener de front ses fonctions de répétiteur et le dur labeur d'une année de Mathématiques spéciales; il fut reçu à la fin de l'année, au concours de 1858.

» On se figure aisément l'ardeur avec laquelle ce jeune homme, épris de Science et enfin arrivé à son but, s'engagea dans ces trois années de libres études qu'ont connues tout ceux qui ont passé par l'École; il y trouva des maîtres éminents, Briot pour les Mathématiques, Verdet pour la Physique, Sainte-Claire Deville pour la Chimie; dans ce temps-là, les deux premières années d'études étaient communes, et c'est seulement en troisième année que l'on se spécialisait soit en Mathématiques, soit en Physique. Mascart fut bien près de devenir mathématicien; il y était fort poussé par Briot, dont il devait, peu d'années après, devenir le gendre, et qui, par manière de plaisanterie, lui reprocha souvent de lui avoir échappé; la Physique l'emporta; mais la trace de la forte culture mathématique de Mascart se retrouva plus tard dans ses Œuvres, et leur donna une vigueur que n'atteindront jamais les expérimentateurs purs.

» Agrégé des Sciences physiques en septembre 1861, Mascart aurait pu obtenir immédiatement une nomination dans l'enseignement secondaire; c'était l'avenir assuré, avec une carrière honorable et régulière. Mais l'ambition des études et des recherches personnelles était venue au jeune normalien, au contact et à l'exemple journalier de ces maîtres dont c'était là toute la vie et toute la passion. Une

situation modeste de préparateur d'Histoire naturelle (!) lui permit de rester à Paris, et lui assura le loisir nécessaire pour préparer une thèse, en même temps que les Laboratoires de l'École lui en donnaient les ressources matérielles. Le 2 juillet 1864, il était reçu docteur, et à peine quinze jours après, il épousait M^{lle} Briot, qui fut pendant quarante-quatre ans l'admirable compagne d'une vie toute de labeur et de Science.

» Nommé au Lycée de Metz en septembre 1864, Mascart ne put se résoudre à abandonner pour longtemps ses travaux; dès 1865, il prenait un congé sans traitement et revenait à Paris poursuivre ses recherches sur la lumière; une suppléance à l'École Normale de son maître Verdet, qui dura quelques mois, contribua à le mettre en relief; au mois de septembre 1866, il était nommé professeur au Collège Chaptal; après avoir passé successivement au Lycée Napoléon et au Lycée de Versailles, il quittait définitivement l'enseignement secondaire pour entrer en décembre 1868 au Collège de France comme suppléant de Regnault.

» Ces quelques années furent marquées par un incident qu'il n'est pas sans intérêt de rapporter ici : le grand homme d'État que fut Thiers avait l'innocente prétention d'être universel en toutes choses; les anecdotes abondent à ce sujet (1) :

» Un jour, parlant d'un homme élevé à une haute fonction : « Il n'est pas plus fait pour cet emploi que moi pour être pharmacien... » et encore, ajoutait-il en se reprenant, moi, je sais la Chimie ! »

» Si Thiers savait la Chimie, et même la Physique, c'est à Mascart qu'il le devait. De 1867 à 1870, il voulut consacrer aux Sciences les loisirs que lui laissait la politique; c'est à Mascart qu'il s'adressa pour cela; il trouvait à l'École Normale et des conseils éclairés et des expériences intéressantes; il aimait à fixer lui-même le programme de son travail et ne se contentait pas facilement. Voici quelques lettres de ce temps-là :

« Mon cher monsieur Mascart, écrit-il le 5 janvier 1867, j'irai » vous joindre à l'École Normale pour continuer mes études avec » vous... Je voudrais refaire l'expérience de l'ébullition (variable

(1) HANOTAUX, *Histoire de la France contemporaine*, t. I, p. 54.

» avec la pression) d'une manière différente, par exemple... en
» faisant le vide par la machine pneumatique. Je voudrais pour-
» suivre l'étude des corps simples autres que l'oxygène et l'hydro-
» gène, et tels que l'azote, le soufre, le chlore, le phosphore, le
» carbone, etc., mais, bien entendu, partie seulement de tout cela
» et en suivant une marche méthodique. »

« Mon cher monsieur Mascart, demain lundi à 3 h, je serai à
» l'École Normale. Nous travaillerons sur le carbone, et, s'il nous
» reste du temps, sur l'iode, le silicium, l'arsenic. Je voudrais bien
» revoir l'expérience du carbure d'hydrogène combiné avec le
» chlore. Mardi, j'aurai la séance que M. Sainte-Claire Deville m'a
» promise sur les grands moyens de produire le calorique et de l'ap-
» pliquer aux métaux. »

» Les dernières de ces lettres, par leurs dates, ont presque un
intérêt historique; les voici :

« 1^{er} juillet 1870. — Mon cher monsieur Mascart, j'ai été si
» occupé cette semaine que je n'ai pu vous donner signe de vie.
» Lundi ou mardi, je serai tout à vous. Lundi, nous travaillerons
» sur le carbone, le soufre, le phosphore, le calcium, l'aluminium;
» mardi sur l'Électricité, et puis nous prendrons jour pour la
» semaine suivante. »

« 11 juillet 1870. — Mon cher monsieur Mascart, les événements
» sont si graves qu'il m'est impossible de quitter la Chambre
» demain. Je crains de ne pas le pouvoir mercredi, mais jeudi je suis
» à peu près sûr d'être libre. En tout cas, je vous préviendrai. Ainsi,
» à jeudi. »

» Ainsi, au début de cette semaine fatale où des événements irré-
parables devaient s'accomplir, Thiers songeait encore à s'occuper
de Physique et de Chimie, et le jeudi qu'il fixait comme rendez-vous
au Laboratoire de l'École Normale devait être le jour, désormais
historique, où le roi Guillaume rompait les négociations avec notre
ambassadeur!

» La guerre vint bouleverser, pour Mascart comme pour tant
d'autres, ce brillant commencement de carrière scientifique. Dès le
24 août, il partait à l'improviste pour faire une tournée d'examens

d'admission à l'École d'Arts et Métiers d'Aix. C'est au cours de cette tournée qu'il apprit les événements du 4 septembre. Tous ceux qui, même à travers les ignorances de l'enfance, ont entrevu cette époque, se souviennent du magnifique élan avec lequel tous les hommes de cœur apportèrent leur activité et leur dévouement au Gouvernement de la Défense nationale, et, sans quitter le monde scientifique, que de noms nous pourrions citer ! Mascart fut parmi ceux-là ; au milieu de la désorganisation générale, tout manquait à la fois ; Mascart, ce normalien, cet universitaire qui jusque-là avait passé sa vie au Laboratoire, uniquement préoccupé des calmes problèmes de la Science pure, se vit à l'improviste chargé d'organiser une capsulerie à Bayonne ! Ce fut une période où se révélèrent ses qualités maitresses, qu'il devait plus tard porter à un si éminent degré.

« Je continue à être très occupé, écrit-il deux jours après son » arrivée à Bayonne, le 26 octobre 1870 ; je fais menuiser et » maçonner, j'achète pour des sommes folles ; bref, j'installe à » grands frais une fabrique qui ne marchera peut-être pas, si nous » avons la paix sans tarder. »

» Un peu plus tard, le 6 novembre, il écrit :

« Il n'y a pas quinze jours que nous avons commencé à bâtir, et » nous *produirons* avant un établissement parallèle qui s'est installé » à Toulouse et qui avait sous la main tous les outils que nous » avons été obligés de fabriquer de toutes pièces. »

» Bientôt tout est prêt, et Mascart se trouve à la tête de cent cinquante ouvriers ; les difficultés, les émotions même ne manquèrent pas : un jour, le feu prit dans la fabrique ; il y avait près de là 300 kg de fulminate à l'état sec ; Mascart, presque seul, éteignit l'incendie et conjura le danger ; il le fit, comme il faisait toute chose, simplement et en silence : personne ne se douta de la terrible catastrophe qui aurait pu se produire ; ce furent là ses débuts dans l'Industrie ; il devait s'en souvenir toujours plus tard, et il n'est pas téméraire de penser que ce brusque contact avec la vie pratique eut une profonde influence sur toute sa carrière.

» La guerre finie, Mascart reprit, avec la suppléance de Regnault au Collège de France, ses travaux scientifiques ; la chaire devait

bientôt devenir vacante par la retraite de l'illustre physicien, que la mort tragique de son fils venait de frapper si douloureusement; Mascart se porta candidat et, le 6 mai 1872, il fut présenté en première ligne par l'Académie des Sciences, au second tour de scrutin, par 27 voix contre 26 à Janssen; il devait occuper cette chaire jusqu'à la fin de sa carrière.

» Quelques années plus tard, en 1878, un décret décidait la création, en France, d'un Bureau central météorologique; sur la proposition de Sainte-Claire Deville, de Dumas et d'Hervé-Mangon, Mascart en était nommé directeur. Il occupa ce poste pendant près de 20 ans.

» Enfin, le 5 décembre 1884, il était, presque à l'unanimité des suffrages, élu membre de l'Académie des Sciences en remplacement de Jamin, devenu secrétaire perpétuel.

I.

» Les premiers travaux de Mascart, à sa sortie de l'École Normale, portèrent sur l'Optique; l'Électricité, à laquelle plus tard devait surtout s'attacher son nom et dont les progrès lui doivent tant, était alors peu en honneur en France, et c'est surtout en Allemagne et en Angleterre qu'elle recevait ses principaux développements; au contraire, l'Optique, depuis l'admirable impulsion que lui avait donnée Fresnel en créant, presque à lui seul, tout le corps de doctrine qui constitue la théorie des ondulations, n'avait jamais cessé d'être pour beaucoup de physiciens français une science de prédilection. D'ailleurs, l'étude de la lumière venait d'entrer en possession d'un domaine nouveau, grâce aux belles découvertes de Fraunhofer et de Kirchhoff : l'existence, dans le spectre solaire, d'un système extrêmement complexe de raies obscures, la coïncidence signalée par Kirchhoff, puis expliquée par lui au moyen d'une hypothèse hardie, entre ces raies obscures et les raies brillantes fournies par l'observation spectroscopique des vapeurs métalliques incandescentes, donnait un grand intérêt aux mesures précises effectuées dans cette partie, encore peu explorée, de la Science; déjà Fraunhofer, à peine découvertes les raies obscures du spectre solaire, en avait mesuré les longueurs d'onde dans un travail qui est

demeuré un modèle de précision et de rigueur; mais l'étude du spectre ultra-violet, découvert par les anciennes observations de Scheele et de Wollaston, était beaucoup moins avancée; par analogie, on avait bien vite soupçonné l'existence, dans ces régions obscures du spectre solaire, de raies inactives, analogues aux raies obscures du spectre visible; et ces raies avaient été mises en évidence par Helmholtz, Ed. Becquerel et Stokes, soit par l'observation directe (l'œil pouvant, dans des circonstances exceptionnelles, aller très loin au delà du violet), soit par les phénomènes photo-chimiques, soit par les phénomènes de phosphorescence et de fluorescence; mais aucune mesure précise, comparable à celle de Fraunhofer, n'avait encore été faite, et Kirchhoff pouvait écrire : « La résolution de ces bandes confuses me paraît présenter le même intérêt que la résolution des nébuleuses du firmament et la connaissance exacte du spectre solaire ne me semble pas offrir une importance moindre que l'étude des étoiles fixes. »

» C'est à ces questions difficiles que Mascart s'attacha d'abord, et c'est là qu'il trouva la matière d'une thèse qui devait, du premier coup, le mettre hors de pair; son but était d'atteindre, dans la mesure des indices de réfraction et des longueurs d'onde des raies du spectre invisible, une précision comparable à celle que Fraunhofer avait obtenue dans l'étendue du spectre visible; renonçant aux procédés d'observation directe de Helmholtz, procédés pénibles, ne s'appliquant pas à toutes les vues, et ne donnant les raies inactives que sous forme de bandes plus ou moins confuses; renonçant également à l'utilisation de la fluorescence, qui ne permet pas une précision suffisante, Mascart adopta, comme l'avait déjà fait Ed. Becquerel et quelques physiciens, les procédés photographiques; mais on peut juger de la perfection qu'il leur apporta si l'on remarque qu'il fit passer de 70 à 700 le nombre des raies inactives du spectre solaire connues au delà de la raie H, la dernière du spectre visible, et étendit nos connaissances du spectre ultra-violet dans une région supérieure à celle du spectre visible. La méthode consiste à employer un spectroscopie à lentilles de quartz et à prisme de quartz ou de spath et à en remplacer l'oculaire par une petite plaque photographique placée au foyer de l'objectif, dans le plan où se forme l'image réelle du spectre que l'on veut étudier; les diffi-

cultés sont nombreuses : il faut opérer de proche en proche, la plaque n'enregistrant à chaque opération qu'une très faible étendue du spectre ; il faut, par des tâtonnements successifs, mettre au point l'image des rayons invisibles qui, à chaque déplacement de la lunette d'observation, se déplace par suite des variations de l'indice des rayons de plus en plus réfringibles ; il faut enfin, par des mesures micrométriques effectuées au microscope, raccorder toutes ces images les unes aux autres pour arriver à dessiner le spectre complet ; si l'on ajoute à cela qu'à l'époque où ces mesures ont été faites il n'existait pas encore de plaques au gélatino-bromure et que toutes les opérations durent être effectuées au moyen du collodion sensibilisé à l'iodure d'argent, on jugera de toutes les difficultés de la tâche entreprise ; Mascart les surmonta toutes et put donner, comme conclusions de la première partie de son travail, les indices de réfraction ordinaires et extraordinaires dans le quartz et dans le spath, c'est-à-dire dans deux milieux parfaitement bien définis et peu absorbants pour les radiations ultra-violettes, des principales raies du spectre solaire jusqu'à la raie R (et même S et T pour l'indice ordinaire du spath) : Rudberg s'était arrêté à la raie H, la dernière du spectre lumineux.

» Ces constantes une fois définies, il fallait les rapprocher des valeurs exactes des longueurs d'onde des mêmes rayons ; par là, tout observateur, dans l'avenir, pourrait se dispenser de la mesure des longueurs d'onde et les remplacer par des mesures d'indices ou inversement ; à l'exemple de Fraunhofer, Mascart utilisa pour cette détermination le phénomène des réseaux, et c'est surtout dans cette partie de son travail que se révélèrent ses qualités maîtresses, un sens très aigu, et bien rare chez un débutant, de la métrologie de précision et des méthodes expérimentales. J'en trouve la preuve dans le fait suivant : comme instrument de travail, Mascart a uniquement entre les mains, outre l'excellent goniomètre de Brunner dont nous avons parlé plus haut, un réseau de Nobert dont chaque intervalle valait environ 2,2 millièmes de millimètre, ce qui, d'après les formules bien connues, permettait d'espérer une précision de l'ordre du dix-millième dans les mesures relatives des longueurs d'onde. Mais, dès les premières observations, il est arrêté par un phénomène inattendu : les spectres obtenus sont absolument confus et ne per-

mettent aucune mesure précise ; c'est à peine si les raies sont visibles. Tout autre eût renoncé à l'emploi d'un instrument qui, au premier abord, paraissait si défectueux ; Mascart, au lieu d'écarter ce phénomène embarrassant, résolut de l'aborder de front et de l'étudier en détail : au moyen de la lumière simple du sodium, il reconnut que, pour une cause qu'il ne s'arrêta pas à rechercher, le réseau en question donnait, au lieu du spectre normal ordinaire, trois spectres différents : l'un, régulier, α ; le second, irrégulier, β , se produisant presque dans le même plan que le premier : c'est le mélange de ces deux spectres, inégalement déviés et presque au point en même temps, qui amenait la confusion signalée plus haut ; et enfin un troisième spectre γ , irrégulier lui aussi, mais se produisant à une distance très différente des deux premiers ; pour observer ce spectre d'un côté de la normale, il fallait tirer l'oculaire de la lunette, et de l'autre côté l'enfoncer, de sorte que d'un côté le réseau se comportait comme une lentille divergente, et de l'autre comme une lentille convergente de même distance focale : ce spectre irrégulier, se formant à une distance très différente de α et de β , pouvait être mis au point séparément avec la plus grande netteté, et les mêmes phénomènes s'observaient pour les spectres d'ordre supérieur. C'est ce spectre irrégulier γ que Mascart résolut d'utiliser pour ses mesures ; comme il ne recherchait que les valeurs relatives des longueurs d'onde, il suffisait de vérifier, par des mesures faites dans le spectre visible, que les déviations dans le spectre γ suivaient les mêmes lois que dans le spectre normal ; c'est ce qu'il fit en utilisant les raies brillantes de dix métaux convenablement choisis ; assuré ainsi de la confiance qu'on pouvait accorder même à ces mesures faites sur un spectre irrégulier, il procéda aux mesures définitives.

» Si nous avons insisté sur ce point, qui n'est qu'un détail, c'est qu'il montre sur le vif la différence profonde qui existe entre l'observateur vulgaire et l'expérimentateur qui a le sens des mesures physiques : observer un phénomène anormal et inattendu, en étudier les lois, puis l'utiliser pour des mesures de haute précision, est évidemment le fait d'un esprit supérieur. On peut s'étonner que Mascart n'ait pas cherché à expliquer ces anomalies ; pour qui l'a connu plus tard, la chose est toute naturelle et le peint tout entier : chercher une explication serait s'attarder en chemin et s'écarter du

but poursuivi; or, le but seul importe : cesser un seul instant d'y porter les yeux, d'y tendre et de s'en rapprocher serait une marque de faiblesse; Mascart ne s'y abandonne pas, et ce sera là la règle de toute sa vie. Aussi n'est-ce que beaucoup plus tard que Cornu, esprit élégant et curieux, reprit cette question et en trouva l'explication dans les irrégularités systématiques de la répartition des traits du réseau provenant des irrégularités correspondantes de la vis de la machine à diviser qui a servi à la tracer : on sait que ce fut l'origine de l'un de ses beaux Mémoires sur les anomalies focales des réseaux.

» Outre ce phénomène, et bien plus importante que lui, Mascart découvrit une propriété fondamentale des réseaux, qui est demeurée classique depuis : je veux parler de la propriété du minimum de déviation ; lorsque, le faisceau incident restant fixe, on fait tourner simultanément le réseau et la lunette d'observation, la déviation passe par un minimum au moment où le réseau forme le plan bissecteur entre le faisceau incident et le faisceau diffracté ; à ce moment, et à ce moment seulement, la source virtuelle des rayons diffractés est à la même distance du réseau que la source réelle qui a donné naissance aux rayons incidents : on reconnaît là une propriété en tout semblable à celle du minimum de déviation dans les prismes. On sait que ces conditions d'expérience sont particulièrement favorables aux observations spectroscopiques.

» Les résultats de ce travail considérable se résument en deux tableaux : l'un qui donne les longueurs d'onde des principales raies brillantes de dix métaux, l'autre qui donne les longueurs d'onde des principales raies obscures ou inactives du spectre solaire lumineux ou ultra-violet jusqu'à la raie R. Toutes ces valeurs sont relatives et calculées en prenant le nombre de Fraunhofer, 0,5888, pour la longueur d'onde de la raie D. La connaissance de la valeur absolue de cette longueur d'onde eût entraîné à comparer au mètre étalon les micromètres dont on avait à faire usage ; c'est là un travail considérable que Mascart n'aborda pas : on sait qu'il faut arriver aux travaux modernes de MM. Michelson, Benoit, Perot et Fabry, etc., pour trouver la solution de cette question.

» L'extension donnée par Mascart aux mesures d'indices et de longueurs d'onde l'amena naturellement à confronter avec l'expérience les différentes formules de dispersion données jusqu'alors par les

mathématiciens. On connaît la formule classique de Cauchy, d'après laquelle l'indice de réfraction pourrait être développé suivant les puissances paires croissantes de l'inverse de la longueur d'onde; Briot avait montré que cette formule peut être retrouvée par une théorie moins sujette à la critique que celle de Cauchy, en admettant que la dispersion de la lumière est due à des inégalités périodiques dans la répartition de l'éther à l'intérieur des corps pondérables; il avait montré également que, si l'on attribuait la dispersion à une action directe des molécules pondérables sur le mouvement de l'éther, on serait amené à représenter l'indice par un développement suivant les puissances paires croissantes de la longueur d'onde, résultat évidemment contraire à l'expérience.

» Mascart eut l'idée de combiner les deux théories, en essayant une formule de la forme

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + H\lambda^2,$$

et trouva que cette formule, qui, il est vrai, contient quatre constantes, représentait très exactement, et avec des différences inférieures aux erreurs d'expérience, les résultats qu'il avait obtenus.

» Délivré du souci de sa thèse, Mascart n'abandonna pas l'étude du spectre : dans le but de se mettre à l'abri des critiques que pouvait amener l'emploi d'un réseau présentant les anomalies que nous avons décrites, il se procura cinq autres réseaux extrêmement parfaits, grâce auxquels il put continuer ses recherches; il étudia, par les mêmes méthodes, les spectres de l'hydrogène, du lithium, du calcium, du strontium, de l'argent, du zinc, et surtout du cadmium, dont il fit une monographie détaillée : dans ce dernier, il poussa ses mesures jusqu'à $\lambda = 0,2217 \mu$ dans le spectre ultra-violet; on sait que cette limite du côté des faibles longueurs d'onde ne fut pas de longtemps dépassée : Cornu atteignit 0,1852 dans le spectre de l'aluminium, et ce n'est que beaucoup plus tard que Lénard et Schumann purent mettre en évidence des radiations de 0,1 μ au moyen de spectroscopes composés uniquement de spath fluor et placés dans le vide, ces radiations à courte longueur d'onde étant extrêmement absorbables par l'air.

» Le Mémoire de Mascart fut présenté à l'Académie des Sciences pour le concours du Prix Bordin de 1866, avec l'épigraphe : *La sim-*

plicité des méthodes est une garantie de la précision des mesures; les commissaires étaient Pouillet, Ed. Becquerel, Foucault, Regnault et Fizeau : ce fut ce dernier qui fit le Rapport; il apprécia le travail qui lui était présenté comme « le plus approfondi et le plus satisfaisant qui ait été fait depuis Fraunhofer relativement aux longueurs d'onde des divers rayons qui composent la lumière ». Le prix lui fut décerné à l'unanimité.

» Au cours de ces recherches, dont le but principal était les mesures d'indices et de longueurs d'onde, Mascart fut amené à faire plusieurs observations intéressantes, dont quelques-unes auraient pu devenir le point de départ d'un travail nouveau : étudiant le spectre d'émission du potassium dans l'arc électrique, il observa le renversement spontané de la raie A; on sait en quoi consiste ce phénomène : dans certaines conditions de température et de densité, les raies brillantes d'émission des vapeurs métalliques se transforment en raies sombres sur fond brillant; ce phénomène, qui d'ailleurs peut rentrer dans les idées générales de Kirchhoff, avait été découvert par Fizeau dans le cas du sodium; Mascart l'observa sur la raie la moins réfrangible du potassium en volatilisant ce métal dans l'arc; on sait comment, quelques années plus tard, Cornu donna une extension considérable à cette étude des raies spontanément renversables.

» Il en est de même de l'étude de la périodicité de certains groupes de raies spectrales, qui a pris aujourd'hui une si grande importance. Mascart fut le premier observateur qui signala l'existence de trois triplets dans le spectre du magnésium; il en tira la conclusion suivante : « N'est-il pas naturel d'admettre que ces groupes de raies semblables sont des harmoniques qui tiennent à la constitution moléculaire des gaz lumineux? » L'avenir devait montrer que, si cette conception du phénomène était trop simple, le phénomène lui-même par son extension devait devenir un des plus significatifs dans le domaine de la spectroscopie.

» Enfin Mascart, étudiant les observations de Helmholtz, montra que, pour certaines vues, et en particulier pour les vues myopes, le spectre ultra-violet pouvait être visible (spectre lavande de Herschel) sur une étendue six ou sept fois plus grande que le spectre lumineux : on peut apercevoir jusqu'à $\lambda = 0,213 \mu$.

» Ces longues études sur le spectre avaient donné à Mascart une grande expérience des phénomènes lumineux ; il était donc tout prêt à aborder de nouveaux travaux du même genre lorsque l'Académie mit au concours, pour le Grand Prix des Sciences mathématiques de 1870, le sujet suivant : « Rechercher expérimentalement les modifications qu'éprouve la lumière dans son mode de propagation et ses propriétés par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur. » Cette question, l'une des plus difficiles et des plus complexes de l'Optique, a une histoire singulière, qui mérite d'être rappelée en quelques mots.

» Arago, en 1810, fit l'observation suivante : Si l'on mesure la déviation imprimée par un prisme achromatisé à la lumière qui vient d'une étoile, on observe exactement la même déviation, soit que l'on ait choisi une étoile vers laquelle la Terre marche, soit que l'on ait choisi une étoile de laquelle la Terre s'éloigne. Cette expérience fondamentale s'expliquait mal dans la théorie de l'émission ; dans une lettre célèbre adressée à Arago en septembre 1819, Fresnel tenta d'en donner l'explication dans la théorie des ondulations au moyen de son hypothèse hardie de l'entraînement partiel des ondes lumineuses par les corps en mouvement : il montra que, pour une lumière d'une longueur d'onde donnée, il y a bien, en réalité, un changement dans la déviation (augmentation dans un cas, diminution dans l'autre), mais que ce changement est compensé par un phénomène analogue à l'aberration qui impose à la lunette d'observation un changement précisément égal et de signe contraire, en sorte que, dans aucun cas, une telle expérience ne peut mettre en évidence le mouvement de la Terre ; la déviation est toujours la même que si le prisme était immobile ; c'est bien la conclusion de l'expérience d'Arago.

» Le phénomène paraissait donc suffisamment bien éclairci, lorsque survint la découverte du fameux principe de Döpler, précisé par Fizeau ; on sait en quoi consiste ce principe, dont chacun peut observer les conséquences dans le cas des ondes sonores : lorsqu'une source périodique (sonore ou lumineuse) et un observateur éprouvent un déplacement relatif, que ce déplacement soit d'ailleurs dû au mouvement de la source, au mouvement de l'observateur ou à tous les deux combinés, la longueur d'onde apparente

du mouvement qui arrive à l'observateur est modifiée : elle est augmentée s'il y a éloignement, diminuée s'il y a rapprochement. Mascart se posa dès lors la question suivante : « Dans l'explication » par Fresnel de l'expérience d'Arago, est-ce la longueur d'onde » réelle ou la longueur d'onde apparente du mouvement qui frappe » le prisme qu'il faut faire intervenir ? »

» Si, comme semblait le croire Fresnel, c'était la longueur d'onde réelle, on arrivait à une conséquence bizarre, bien peu probable *a priori*, mais non impossible : en observant sur la Terre une source lumineuse terrestre, on peut se placer dans deux situations différentes : on peut (l'influence du mouvement de rotation de la Terre étant négligeable) s'arranger de manière que la lumière chemine dans le même sens que la Terre sur son orbite, ou en sens inverse ; dans le premier cas, en vertu du principe de Döppler, la longueur d'onde réelle de la lumière qui tombe sur les appareils d'observation est diminuée ; dans le second cas, elle est augmentée ; si donc c'est cette longueur d'onde qui intervient, on doit, en recevant cette lumière sur un prisme, observer, suivant les cas, un changement dans la déviation ; on pourrait donc, conséquence bien paradoxale, mettre en évidence non seulement le mouvement de la Terre sur son orbite, mais encore le mouvement absolu de la Terre dans l'espace ; ou inversement, si l'on n'observe pas de différence dans les déviations, c'est la longueur d'onde apparente qui intervient, et alors l'expérience d'Arago, convenablement disposée, devrait donner un changement de déviation, changement non observé par lui, ainsi qu'il a été dit plus haut.

» Tel est le dilemme extrêmement intéressant qui sert de point de départ au travail de Mascart. Hâtons-nous d'ajouter que Fizeau, précisément dans le Rapport qu'il présenta à l'Académie des Sciences sur le Mémoire de Mascart, fit remarquer que, telle qu'elle avait été faite, l'expérience d'Arago devait bien donner le résultat trouvé : Arago, en effet, opérait avec un prisme *achromatisé*, c'est-à-dire qui, par définition, donne des déviations indépendantes de la longueur d'onde ; le choix de la longueur d'onde à faire intervenir dans la théorie de Fresnel devenait donc indifférent, et, en tout état de cause, la déviation observée dans tous les cas devait être la même que si le prisme était immobile. Il n'en reste pas moins vrai que,

si, au lieu de recevoir sur un prisme achromatisé la lumière blanche d'une étoile, on mesurait, à travers un prisme ordinaire, la déviation imprimée à une raie déterminée du spectre, on obtiendrait des résultats différents suivant que la Terre s'approcherait de l'étoile ou s'en éloignerait : c'est à Mascart qu'on doit d'avoir mis nettement en évidence cette conséquence du principe de Döpler combiné avec l'hypothèse de Fresnel sur l'entraînement des ondes.

» Ces difficultés, et bien d'autres du même genre, donnaient un haut degré d'intérêt à une étude d'ensemble sur l'influence que peut exercer le mouvement de la Terre sur les différents phénomènes lumineux; ce fut ce travail considérable que Mascart entreprit et dont il exposa les résultats dans deux très importants Mémoires, les plus puissants peut-être de toute sa carrière scientifique, insérés aux *Annales de l'École Normale* de 1872 et 1874.

» Pour étudier les variations possibles de la déviation à travers un prisme, Mascart utilisa deux grands appareils, installés sur des piliers en maçonnerie, dans les caves de l'École Normale, à une température très constante de 12° environ. L'un était installé à poste fixe, le collimateur étant dirigé vers l'Ouest, de sorte qu'en faisant des observations à midi et à minuit, les rayons incidents pouvaient se propager dans deux sens opposés par rapport au mouvement de la Terre. L'autre appareil était monté sur une plaque tournante qui permettait de lui donner alternativement deux directions opposées : les observations, répétées un grand nombre de fois, montrèrent que le changement de déviation, s'il existe, est absolument inappréciable, et, d'après la précision des mesures, on pouvait affirmer qu'un déplacement vingt fois plus faible que celui qu'indique la formule de Fresnel ne serait pas passé inaperçu. Ce fut ce résultat négatif qui amena Mascart, comme nous l'avons vu, à modifier la formule de Fresnel ou plutôt la signification des lettres qui y entrent; cette formule est, comme on le sait, la suivante : si l'on désigne par V la vitesse des ondes lumineuses dans un milieu en mouvement dont la vitesse u s'éloigne de la source, U la vitesse de la lumière dans le milieu supposé au repos, n l'indice de réfraction, on a, d'après Fresnel,

$$V = U + u \left(1 + \frac{1}{n^2} \right).$$

» Mais, la vitesse de la lumière dans les milieux doués de dispersion dépendant de la longueur d'onde, que doit-on prendre pour U ? Est-ce la vitesse correspondant à la longueur d'onde réelle de la lumière qui aborde le milieu (comme le supposait Fresnel, antérieurement au principe de Döppler)? est-ce la vitesse de la lumière correspondant à la longueur d'onde apparente du mouvement vibratoire qui frappe la première face du milieu en mouvement? On a vu qu'en adoptant cette deuxième hypothèse, Mascart a pu à la fois interpréter ses propres expériences et prévoir le résultat que donnerait l'expérience d'Arago correctement interprétée.

» On voit combien l'intervention des milieux pondérables dans ces questions les complique; les phénomènes de réflexion et de diffraction, étant indépendants de ces milieux, semblent d'un abord plus facile: c'est par eux, en effet, que Mascart avait débuté.

» Lorsqu'on reçoit sur un réseau un faisceau de lumière parallèle, il se forme un système régulier d'ondes planes diversement déviées auxquelles on a donné le nom d'ondes paragéniques; la déviation de l'un de ces systèmes, du premier par exemple, dépend de la longueur d'onde de la lumière incidente; on conçoit donc que la déviation change avec la valeur apparente de cette longueur d'onde, c'est-à-dire avec le mouvement du réseau vers la source ou à partir de la source; le sens du phénomène est tel, que le changement de direction apparent du déplacement de la lunette s'ajoute au changement produit par le mouvement du réseau, en sorte que la compensation n'a plus lieu comme dans l'expérience d'Arago. Ce raisonnement, dû à Babinet, permettait donc d'espérer que l'on pourrait ainsi mettre en évidence le mouvement de la Terre.

» Mascart tenta l'expérience un grand nombre de fois et dans les conditions les plus variées, soit avec des sources terrestres, soit avec la lumière solaire réfléchie sur un miroir et cheminant tantôt dans le sens du mouvement de la Terre, tantôt en sens inverse: les mesures, exécutées avec la plus extrême précision, ne donnèrent aucun résultat; un changement très inférieur à celui que prévoit la théorie de Babinet n'aurait pas pu passer inaperçu; quelque circonstance devait donc fausser cette théorie.

» En analysant ces circonstances, Mascart reconnut que l'explication du phénomène devait se trouver dans la réflexion de la lumière

solaire sur le miroir employé pour faire changer sa direction, et il arriva à conclure : qu'un miroir entraîné par la Terre et réfléchissant la lumière solaire, dont par conséquent le mouvement est sensiblement normal aux rayons incidents, se comporte, pour chaque radiation, comme une source terrestre de même longueur d'onde ; cette hypothèse fut vérifiée par des expériences directes, en comparant, dans le même spectroscopie à réseau, les positions occupées par la raie D de la lumière solaire réfléchie sur un miroir et de la raie D du sodium ; les deux raies coïncident toujours exactement ; l'expérience, d'ailleurs, peut être réalisée avec une précision d'autant plus grande qu'on peut, pour la seconde lumière, utiliser le renversement spontané de la raie D dont nous avons parlé plus haut, en utilisant comme source un arc jaillissant entre deux électrodes de sodium : les deux raies apparaissent alors sous forme de traits noirs sur fond brillant, et leur coïncidence peut être vérifiée exactement.

» Dès lors, la théorie de Babinet était en défaut, puisque cette théorie suppose que la longueur d'onde de la lumière qui tombe sur le réseau est indépendante du sens de la propagation de cette lumière par rapport au mouvement de la Terre ; si l'on voulait réellement, par ce moyen, mettre en évidence le mouvement de la Terre, il faudrait employer non pas la lumière du Soleil réfléchie par un miroir, mais la lumière directe d'une étoile, comme dans l'expérience d'Arago : mais cette lumière est si faible, que l'emploi d'un réseau devient presque irréalisable (1).

» Ainsi dans le cas de deux des phénomènes les plus importants de l'Optique, réfraction et diffraction, l'expérience, d'accord avec une théorie convenablement interprétée, était purement négative ; en aucun cas, le mouvement de la Terre ne pouvait être mis en évidence.

» Les expériences purement négatives, quelle que soit leur importance, ont quelque chose de sévère et de rebutant, capable de décourager les esprits les mieux trempés ; il faut admirer la force d'âme d'un Mascart, qui, prévoyant le résultat vers lequel il marchait, s'imposa un travail de plusieurs années, souvent pénible, toujours

(1) Cela provient essentiellement de ce que dans un prisme la déviation est une fonction décroissante et dans un réseau une fonction croissante de la longueur d'onde.

difficile, pour démontrer que *certains phénomènes n'existaient pas* : outre les phénomènes de diffraction et de réfraction dont nous avons parlé, Mascart étudia successivement les phénomènes de double réfraction rectiligne et de double réfraction circulaire, les anneaux de réflexion, les anneaux de transmission, les anneaux des lames mixtes ; dans tous les cas, l'influence du mouvement de la Terre se montra rigoureusement nulle. Les deux Mémoires de 1872 et de 1874, publiés aux *Annales de l'École Normale supérieure*, qui contiennent les résultats de ces longues recherches, ont tous les caractères d'une œuvre classique et resteront la base des recherches ultérieures dans ce domaine difficile ; l'Académie des Sciences en reconnut la haute importance : dès 1872, un encouragement était accordé à Mascart, et, en 1874, sur le rapport de Fizeau, le Grand Prix des Sciences mathématiques lui était décerné.

» Nous en aurons fini avec les grands Mémoires d'Optique de Mascart lorsque nous aurons signalé son travail sur les *indices de réfraction des corps gazeux*. Après quelques essais peu satisfaisants, il abandonna bien vite la méthode de la déviation prismatique, susceptible d'une trop faible précision, pour recourir à une méthode interférentielle : on sait que, si, dans un spectroscopie ordinaire, l'on sépare en deux parties, au moyen d'une bilame de Fizeau, le faisceau de rayons parallèles qui sort du collimateur, puis qu'on les réunisse au moyen d'une bilame analogue avant leur entrée dans le système prismatique, si, de plus, sur l'une des moitiés du faisceau ainsi divisé on établit un retard, on observe un spectre sillonné de cannelures sombres qui ont reçu le nom de bandes de Talbot ; ce phénomène présente d'ailleurs une dissymétrie singulière : les franges n'apparaissent que si le plus grand retard se produit sur la moitié du faisceau qui est la plus voisine de l'arête des prismes. La méthode consiste alors à placer, sur le trajet de chacun des deux faisceaux parallèles dont il a été question plus haut, deux longs tubes, fermés par des glaces et contenant le gaz étudié. Si l'on fait lentement varier la pression dans l'un de ces tubes, on voit passer, en un point déterminé du spectre, un nombre de franges proportionnel à la variation d'indice du gaz étudié. Par des mesures de ce genre, Mascart reconnut que l'excès de réfraction du gaz, c'est-à-dire la quantité $n - 1$, ne varie pas proportionnellement à la pression, c'est-à-

dire que le rapport $\frac{n-1}{p}$ n'est pas constant : il augmente légèrement avec la pression; on peut le représenter par une formule de la forme

$$\frac{n-1}{p} = a(1 + bp).$$

» D'autre part, les expériences de Regnault avaient montré que la densité d'un gaz, elle aussi, n'est pas rigoureusement proportionnelle à la pression, et peut être représentée par une formule de la forme

$$\frac{d}{p} = a'(1 + b'p).$$

» Mascart eut l'idée de comparer les coefficients b et b' ; il observa qu'ils sont sensiblement égaux, et, circonstance frappante, qu'ils changent de signe en même temps (ils sont négatifs pour l'hydrogène); il en conclut que, « dans les limites d'exactitude des observations, il semble que la réfraction d'un gaz est sensiblement proportionnelle à son poids spécifique ».

» Mascart appliqua ensuite la même disposition expérimentale pour déterminer le pouvoir dispersif de différents gaz ou vapeurs.

» La méthode est intéressante : on forme un spectre cannelé avec de la lumière blanche et on lui superpose un spectre de raies, par exemple au moyen d'une étincelle éclatant entre pointes de cadmium; on compte le nombre de bandes comprises entre deux raies de longueurs d'onde connues λ et λ' ; on fait varier la pression dans l'un des tubes, puis on compte de nouveau le nombre analogue; le calcul permet, en utilisant les expériences précédentes, d'en déduire le pouvoir dispersif du gaz sans être obligé de s'astreindre à compter le nombre des bandes qui passent. Mascart put ainsi déterminer pour différents gaz et vapeurs le coefficient b de la formule de Cauchy,

$$n - 1 = a \left(1 + \frac{b}{\lambda^2} \right),$$

qui caractérise la dispersion du gaz considéré. Il trouva ainsi que certains gaz (le protoxyde d'azote, le cyanogène) présentent une dispersion plus grande que celle de l'eau.

» Les autres travaux de Mascart en Optique, fort nombreux, ne

donnèrent plus lieu à des Mémoires étendus ; citons, en particulier, la polarisation par diffraction, la théorie des franges de Brewster et de Jamin, l'étude du passage de la réflexion vitreuse à la réflexion métallique par l'emploi de couches d'argent d'épaisseurs croissantes, l'application de franges de Talbot à la mesure de la compressibilité de l'eau, la démonstration de l'équivalence entre un système quelconque de lames cristallines superposées et une lame unique, la théorie de l'arc-en-ciel, la discussion du principe de Huygens, l'achromatisme des phénomènes d'interférence, l'application du spectroscopie à l'étude des phénomènes d'interférence, etc.

» Pendant plusieurs années, Mascart fit de l'Optique l'objet de son enseignement au Collège de France ; ces leçons avaient un caractère bien particulier que n'oublieront pas ceux qui les ont suivies : même au milieu des théories les plus difficiles de l'Optique mathématique, elles restaient expérimentales ; mais Mascart n'aimait pas ce qu'on est convenu d'appeler les expériences de cours, qui bien souvent sont plus brillantes que probantes ; ses expériences, ce que rendait possible le petit nombre des auditeurs, étaient de vraies expériences de laboratoire, et les phénomènes les plus rares et les plus délicats de l'Optique y étaient présentés avec une netteté parfaite : ses préparateurs se souviennent du rude labeur qu'ils avaient à les disposer et à les régler ; un travail de plusieurs semaines était souvent nécessaire pour préparer l'une d'elles ; c'était là une sévère école de Physique expérimentale, et les physiciens éminents qui sont sortis de ce Laboratoire, après avoir peut-être supporté avec quelque impatience ce régime, reconnaissent aujourd'hui tout le profit qu'ils en ont tiré. « Quand on soumet un travail au patron, écrivait un de ses anciens élèves (cité par M. Joubert), s'il y a un point faible, il l'aperçoit de suite et vous le signale ; s'il ne dit rien, c'est que ce n'est pas mal ; s'il dit que ce n'est pas mal, c'est que c'est très bien. »

» De tout cet enseignement est sorti un important Ouvrage en trois Volumes : les *Leçons d'Optique*, qui constituent le Traité français le plus important et le plus savant que nous possédions actuellement sur ce sujet ; pendant bien longtemps ce Traité sera consulté par les chercheurs, qui y trouveront les documents les plus précieux et les plus complets.

II.

» Les travaux de Mascart en Électricité sont surtout des travaux de précision et de mesures ; les plus importants sont la détermination de l'équivalent électrochimique de l'argent, et surtout la détermination absolue de l'ohm, qu'il a exécutée en collaboration avec MM. Benoit et de Nerville, et qui est, comme les Mémoires d'Optique que nous avons analysés plus haut, demeurée classique. Les méthodes employées dans ce dernier travail furent successivement celles de Weber et de Kirchhoff, qui ramènent la mesure absolue d'une résistance à la mesure absolue d'une quantité d'électricité ; dans la première, cette quantité d'électricité ou décharge est produite par une rotation de 180° d'une bobine connue dans le champ terrestre, dans la seconde par l'induction mutuelle de deux bobines connues l'une sur l'autre ; dans les deux cas, la mesure absolue d'une résistance se ramène finalement à des mesures purement géométriques et à la mesure d'un temps qui est la durée des oscillations infiniment petites du galvanomètre balistique employé pour mesurer les décharges. Tout l'intérêt d'un pareil travail est dans l'exactitude des détails et le soin des expériences ; son analyse tient en quelques lignes, mais son importance est de premier ordre. Les expériences furent exécutées à Versailles, dans le Parc du Petit Trianon, c'est-à-dire dans des conditions exceptionnelles de calme, et à l'abri des perturbations du champ magnétique terrestre qui sont si à redouter à l'intérieur des grandes villes.

» Les autres recherches importantes de Mascart portèrent sur le Magnétisme. Bien des problèmes expérimentaux restaient à résoudre après les théories mathématiques de Poisson et de ses successeurs, en particulier de Lord Kelvin ; Mascart en a abordé quelques-uns. Sa méthode pour la détermination de la position des pôles d'un barreau aimanté est d'une rare élégance : elle consiste à déterminer, par la méthode du galvanomètre balistique : 1^o la décharge induite dans un long solénoïde par l'aimant à étudier primitivement placé dans sa partie centrale, puis enlevé brusquement à grande distance ; 2^o la décharge induite dans une bobine plate placée au centre du même aimant, puis enlevée à grande distance ; la première est pro-

portionnelle au moment magnétique de l'aimant, la seconde à la quantité de magnétisme; le quotient est donc proportionnel à la distance cherchée des pôles, le coefficient de proportionnalité dépendant uniquement des constantes géométriques des bobines. Cette méthode, appliquée à plusieurs cas particuliers, donna des résultats intéressants : c'est ainsi que Mascart reconnut que l'effet de la trempe est non seulement d'augmenter le magnétisme résiduel que peut retenir un barreau d'acier, mais encore de rapprocher les pôles des extrémités; pour un barreau de 40 cm environ, la distance des pôles aux extrémités est de 4 cm pour le barreau non trempé et de 2 cm pour le barreau trempé; d'autres remarques sont encore à signaler : les chocs rapprochent les pôles des extrémités; les ruptures les en éloignent. Pour le fer doux, les pôles se rapprochent d'autant plus des extrémités que le champ magnétisant est plus intense.

» Le même Mémoire contient également des recherches intéressantes sur les coefficients d'aimantation apparents des aimants courts parallèlement à leurs trois directions principales : à cause de l'existence des champs démagnétisants, qui ne sont pas les mêmes suivant la direction que l'on considère, il se présente là des propriétés analogues à celles des corps cristallisés, et ces trois coefficients d'aimantation sont inégaux; ces considérations peuvent recevoir une application immédiate dans les observations de magnétisme terrestre pour évaluer les corrections que peut apporter aux mesures le magnétisme induit par le champ terrestre dans le barreau, dont on suppose, dans les calculs, le magnétisme absolument rigide.

» Les autres travaux de Mascart en Électricité sont fort nombreux et soulèvent un grand nombre de questions intéressantes, mais ils se résument désormais en courtes Notes à l'Académie des Sciences; on sent que le temps manque pour des travaux de longue haleine. Signalons en particulier des expériences sur le débit des machines électriques et des Notes sur la théorie de la propagation de l'électricité dans les conducteurs et son application à la télégraphie, sur la théorie des courants d'induction, sur l'action de deux sphères électrisées, sur la détermination de l'ohm par la méthode de l'amortissement, sur le diamagnétisme, sur la propagation des ondes électromagnétiques, etc.

» Tous ces travaux sont, comme en Optique, l'image fidèle de

l'enseignement de Mascart au Collège de France ; dans ce domaine encore si neuf de l'Électricité, les questions se présentent à lui en foule, et, pour les exposer à ses auditeurs, il commence par les approfondir lui-même par des recherches personnelles ; aussi n'a-t-on pas oublié le succès, d'abord du *Traité d'Électricité statique*, publié en 1876, puis surtout de ces *Leçons d'Électricité et de Magnétisme* qui ont déjà fait l'éducation électrique de tant de jeunes physiciens ou ingénieurs. Le nom de Joubert est étroitement lié à celui de Mascart dans cette œuvre considérable, et la collaboration de ces deux hommes d'élite, unis par une ancienne et fidèle amitié, a quelque chose de si intime, qu'il est presque impossible de discerner la part de l'un et de l'autre.

« J'ai reçu ce matin, écrit Lord Kelvin le 4 février 1882, le beau
» Livre que vous venez de publier en collaboration avec M. Joubert
» sur l'Électricité et le Magnétisme, et j'ai eu le plaisir d'en couper
» les pages et de m'y plonger en maints endroits ; je le salue comme
» un organe de haute valeur pour l'expansion de nos connaissances
» scientifiques sur ce sujet, dans une forme qui tend à la fois à
» l'augmentation de nos connaissances par les recherches récentes
» et à l'intelligence des applications pratiques de ce qui est déjà
» connu. »

» Ce Livre venait à son heure ; pendant plus d'un demi-siècle, l'enseignement de l'Électricité en France en était resté aux travaux de Coulomb et d'Ampère ; Verdet, il est vrai, dans son enseignement de l'École Normale, avait réagi contre cette tendance et tenté de faire connaître les travaux étrangers ; mais les cours de Verdet étaient déjà bien loin, et que de travaux, que d'idées nouvelles avaient été accumulés depuis par les Maxwell, les Kelvin et les Helmholtz ! C'est cette œuvre considérable que Mascart et Joubert entreprirent de fondre dans une vaste synthèse, en la reliant aux bases immortelles jetées par Coulomb, Ampère et Faraday. Ce fut avec passion que les débutants accueillirent ce Livre ; ils y trouvaient une réponse à leur ardent désir de connaître les théories récentes, et quelques-uns d'entre eux furent immédiatement séduits par les brillantes échappées sur la pratique que ces théoriciens ne craignaient pas de se permettre ; car ce fut là un caractère original de ce Livre ; jusque-là,

les physiciens purs tenaient dans un éloignement un peu dédaigneux les applications, et auraient cru déchoir en se mêlant à ce monde industriel qui commençait à tirer un si merveilleux parti des grands phénomènes naturels; Mascart et Joubert furent parmi les premiers à reconnaître le véritable caractère de ce mouvement et à le favoriser; savants et ingénieurs doivent leur en conserver une profonde reconnaissance.

III.

» On peut dire que ce ne fut qu'occasionnellement que Mascart s'occupa de Météorologie : son rôle n'y fut pas moins considérable, et le Bureau Central Météorologique, dont il a été le premier directeur, conservera la trace profonde de son passage.

» Pendant bien longtemps les astronomes, Le Verrier en particulier, avaient considéré la Météorologie comme une dépendance de leurs attributions; et, ainsi que le dit Hervé-Mangon dans son premier Rapport présidentiel au Conseil du Bureau Central, « il n'eût été ni juste ni sage d'enlever à Le Verrier le Service international de Météorologie qu'il avait eu la gloire de créer dans notre pays; mais, sitôt que les circonstances l'ont permis, la réorganisation de ce Service a été mise à l'étude ». Le décret du 14 mai 1878 le rendit autonome et indépendant de l'Observatoire, et Mascart fut chargé d'en poursuivre la réorganisation; la trace était difficile; les fonds manquaient et il fallut, la première année, avoir recours au dévouement désintéressé de plusieurs fonctionnaires. Ce que fut l'administration intérieure de Mascart, nous n'avons pas à le rappeler ici; mais son rôle international, qui devait plus tard devenir si important dans le domaine de l'Électricité, date de cette époque, et l'on peut dire que c'est la Météorologie qui l'y engagea. Je ne puis mieux faire, pour indiquer ce rôle, que d'extraire le passage suivant du Rapport d'Hervé-Mangon que nous avons déjà cité :

« Depuis la mémorable Conférence de Bruxelles, en 1853, la
» France n'avait point pris part aux Conférences météorologiques
» internationales et n'était pas représentée au Congrès de Vienne,
» en 1873. Il est inutile de rappeler la cause de cet état de choses,
» aussi pénible pour les météorologistes français que nuisible aux

» progrès de la Science elle-même ; mais il importait, sous tous les
» rapports, de faire cesser ce fâcheux isolement au moment de la
» réorganisation de nos services. L'Exposition de 1878 offrait une
» occasion favorable pour entrer en relations personnelles avec les
» savants des autres pays. Pour atteindre ce but, la Société Météo-
» rologique de France organisa un Congrès libre de Météorologie.
» Un grand nombre de savants se rendirent à son appel. Les réunions
» générales et les réunions privées qui eurent lieu à cette occasion
» du 24 au 28 août furent des plus cordiales. Quelques semaines
» après, M. Mascart fut appelé par nos hôtes de Paris à faire partie
» du *Comité permanent* chargé de régler les questions courantes du
» Service météorologique international et de préparer la réunion du
» prochain Congrès officiel.

» La France, convoquée diplomatiquement, a été représentée au
» Congrès de Rome, ouvert le 14 avril 1879. A la fin du Congrès,
» M. Mascart a été réélu à l'unanimité membre du Comité perma-
» nent. La Science française a donc repris dans le Service météoro-
» logique international la place qu'elle devait naturellement y
» occuper. »

» Le Président du Comité permanent était alors Wild, directeur
du Service météorologique de Russie, qui avait lui-même succédé
au Hollandais Buys-Ballot ; à sa mort, Mascart fut unanimement
choisi pour le remplacer, et dès lors il prit dans le monde de la Météo-
rologie une influence prépondérante ; l'obligation de prendre part
aux travaux de ce Comité, qui se réunit tous les deux ou trois ans
dans les différents pays d'Europe, l'amena successivement à Berne,
Copenhague, Zurich, Munich, Upsal, Saint-Petersbourg, Southport,
et l'on peut présumer que cette nécessité de se mêler à des inter-
valles si rapprochés aux différents milieux nationaux lui fut une
école de connaissance des hommes et de diplomatie scientifique. La
dernière de ces réunions, en septembre 1907, eut quelque chose de
tragique, et ce n'est pas sans une profonde émotion que j'en parle
ici, car le hasard m'amena chez Mascart le jour même où elle avait
lieu ; c'était un mois après la première et subite atteinte du mal
terrible qui devait l'emporter ; il était à peine relevé de l'opération
qu'il avait subie d'urgence et, pour reprendre quelque force, s'était

retiré dans sa maison de campagne de Poissy ; c'est là qu'il réunit ses collègues du Comité international et, pour la dernière fois, avec une énergie de volonté incomparable, présida à leurs délibérations ; je le vis à la sortie de cette séance, et fus frappé de l'altération de ses traits : devant l'aveugle atteinte du mal physique, la force morale qui, pendant toute sa vie, avait été l'unique passion de cet homme, se lisait dans son regard et soutenait seule cette vie déjà condamnée !

» Mais revenons aux débuts de Mascart dans la Météorologie. L'organisation d'expéditions polaires scientifiques fut la première œuvre internationale à laquelle il fut mêlé. Depuis longtemps, les pays étrangers s'occupaient de cette question : on peut en trouver l'origine dans l'expédition autrichienne du *Tégéthoff* à la Terre François-Joseph, qui fut organisée en 1874 par le comte de Wilczik avec Payer comme commandant et Weiprecht comme observateur. Depuis, plusieurs Conférences internationales, où la France n'était pas représentée, avaient eu lieu en plusieurs villes d'Europe ; la dernière datait de 1879 et avait eu lieu à Hambourg. En août 1881, une autre Conférence se tint à Saint-Petersbourg, et Mascart y fut délégué officiellement ; c'était l'époque même de l'Exposition internationale et du Congrès d'Électricité de Paris, où il devait jouer un rôle si important, et l'on doit admirer l'infatigable activité de cet homme, qui, sans prendre une minute de repos, à Saint-Petersbourg, puis à Paris, se dépensa sans compter pour assurer à la France le rôle qu'elle devait jouer dans les relations scientifiques internationales.

» C'est à la suite de cette Conférence que l'expédition française du cap Horn fut décidée et organisée par une commission mixte formée par les Ministères de l'Instruction publique et de la Marine ; Dumas la présidait, l'amiral Cloué y représentait la Marine, et Mascart, comme délégué du Ministère de l'Instruction publique, y apportait les vœux de la Conférence polaire internationale ; les critiques ne lui furent pas ménagées, et Faye, le représentant respecté de l'ancienne Météorologie, *regretta* que l'Académie n'eût pas été consultée à ce sujet, soutenant que les véritables points du globe intéressants au point de vue météorologique étaient dans les régions équatoriales et non dans les régions polaires ; l'expédition fut néan-

moins soigneusement préparée, et des instructions précises furent rédigées par M. Angot, qui est maintenant l'éminent successeur de Mascart au Bureau Central Météorologique. Le but principal de l'expédition consistait dans des observations du magnétisme terrestre; pour préparer à ces observations les officiers qui devaient prendre part à la croisière, Mascart organisa, dès 1881, des conférences sur le magnétisme terrestre qui, en octobre 1882, devinrent une véritable école de Magnétisme. Ces leçons, que Mascart reprit plus tard à l'École supérieure de Marine, furent le point de départ d'un important Traité publié seulement en 1900.

» Il eût été illogique d'organiser des expéditions destinées à entreprendre dans les régions polaires des observations magnétiques si la base même manquait en France; Mascart trouva cette base dans l'Observatoire du Parc Saint-Maur, qui, primitivement fondé par un particulier, M. Renou, venait, sous l'habile direction de M. Moureaux, d'être rattaché au Bureau Central. Il tendit dès lors à faire du Parc Saint-Maur un Observatoire spécialement affecté au Magnétisme terrestre, analogue au célèbre Observatoire de Kew, par exemple; sa situation isolée, que les tramways électriques ne troublaient pas encore ⁽¹⁾, se prêtait particulièrement bien à cette organisation; ce fut à cette occasion que Mascart combina un enregistreur magnétique qui réalisait un sensible progrès sur tous ceux qui avaient été réalisés jusque-là; dans cet appareil, les trois constantes du Magnétisme terrestre : déclinaison, inclinaison, composante horizontale, s'inscrivent photographiquement sur la même feuille de papier où le temps s'inscrit également; le dépouillement de ces courbes est ainsi rendu des plus aisés.

» C'est aussi vers la même époque (1884) que Mascart réalisa, avec le concours de l'habile constructeur Brunner, un théodolite de dimensions extrêmement réduites et très facilement transportable, permettant l'observation en rase campagne de la composante horizontale et de la déclinaison; déjà, d'Abbadie avait combiné une

⁽¹⁾ On sait que le passage à proximité d'une ligne de tramways électriques obligea, il y a quelques années, l'Observatoire du Parc Saint-Maur à suspendre toutes ses observations magnétiques, et à les transporter, à grands frais, dans une région plus calme, au Val-Joyeux, près de Saint-Cyr.

boussole d'inclinaison de ce genre, et j'ai souvent entendu Mascart, qui aimait les beaux instruments, exprimer son admiration pour ces deux chefs-d'œuvre de précision qui ont grandement facilité le tracé de la Carte magnétique de la France et qui sont soigneusement conservés au Parc Saint-Maur.

» Parallèlement à ses enregistreurs magnétiques, Mascart combina également des enregistreurs électriques destinés à mesurer le potentiel en un point de l'atmosphère et constitués par l'ensemble d'un appareil à écoulement ou à flamme et d'un électromètre à quadrant de modèle simplifié; c'est à cette occasion qu'il imagina pour l'emploi de cet instrument une méthode idiostatique, différente de celle de Lord Kelvin et aujourd'hui classique.

» Les études concernant l'Électricité atmosphérique ont d'ailleurs toujours eu un attrait particulier pour lui; c'est ainsi qu'on lui doit de curieuses observations sur l'influence de l'électricité sur l'évaporation : une série de vases métalliques tous identiques et remplis d'eau sont en communication avec la terre; au-dessus de ces vases sont des toiles métalliques, que, pour moitié, on met en communication avec l'un des pôles d'une machine de Holtz en activité jour et nuit; la vitesse d'évaporation est augmentée, quelquefois doublée, dans ceux-ci.

» Une autre expérience sur l'électricité atmosphérique fut suggérée à Mascart par une observation faite par Lord Kelvin au Congrès de 1881; les méthodes rappelées plus haut donnent uniquement le potentiel en un point de l'air, mais elles n'indiquent rien sur l'électrisation de cet air, qu'il serait du plus haut intérêt de connaître; quelques observations lui montrèrent que, si l'on plaçait un appareil à écoulement ou à flamme dans une chambre métallique en communication avec le sol, mais permettant la libre circulation de l'air, les résultats obtenus seraient tout différents, quelquefois même de signe contraire à ceux des appareils enregistreurs ordinairement employés.

» A ces études de Physique du Globe se rattache également l'application du baromètre à l'étude de la gravité suivant une méthode déjà employée par Boussingault : le principe, fort intéressant, de l'appareil consiste à équilibrer par une colonne de mercure une pression constante, par exemple la pression d'un volume invariable d'un gaz

à la température de la glace fondante ; il est clair que la hauteur de cette colonne de mercure varie en raison inverse de g . On montre aisément qu'une erreur de $\frac{1}{100}$ de millimètre sur la hauteur du mercure équivaut à une erreur de $\frac{1}{50}$ de seconde par heure sur les oscillations du pendule. Mascart utilisa un voyage dans le Nord, Hambourg, Copenhague, Stockholm, Drontheim, Tromsø, pour étudier cette méthode à l'aide d'un appareil facilement transportable ; il montra que, en général, les résultats trouvés concordent à quelques cent-millièmes près avec ceux qu'on aurait obtenus par le pendule.

» La même méthode se prêterait à l'étude si intéressante des variations diurnes possibles de la gravité en un point donné ; Mascart aborda ce problème beaucoup plus tard, en 1893, en utilisant un procédé optique pour la mesure du niveau du mercure et en faisant l'enregistrement photographique ; il crut observer quelques traces de variations systématiques ; ces expériences mériteraient d'être reprises, aujourd'hui que les belles recherches de Hecker, au moyen du pendule horizontal, ont mis en évidence les variations périodiques de la direction du fil à plomb.

» Enfin, c'est encore en équilibrant par une colonne de mercure la pression d'une masse d'air qu'il réalisa un appareil transportable permettant le dosage de l'acide carbonique dans l'air, même en n'opérant que sur de faibles volumes.

» Au point de vue des questions de Météorologie pure, Mascart fut un défenseur ardent des théories modernes de la formation des cyclones, et les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* conservent la trace des discussions extrêmement vives, quoique toujours courtoises, qu'il eut à ce sujet avec Faye, l'illustre défenseur de la Météorologie ancienne : les cyclones sont-ils des mouvements descendants ou ascendants, se forment-ils dans les hautes ou dans les basses régions de l'atmosphère ? telles sont les deux opinions en présence, et encore aujourd'hui il n'est pas sans intérêt de relire les arguments passionnés que les deux adversaires se renvoyaient à chaque séance de l'Académie.

» Mascart avait mis comme condition, quand il fut nommé à la direction du Bureau Central, que ses nouvelles fonctions seraient seulement celles d'un administrateur, et ne devraient pas le détourner de ses études antérieures ; on voit que la conscience scientifique a

été la plus forte, et que, placé à la tête d'un des plus importants services de France, il a tenu non seulement à le faire fonctionner régulièrement, mais encore à contribuer à ses progrès par des recherches et des investigations nouvelles.

IV.

» Personne n'a oublié l'éclatant succès de l'Exposition internationale d'Électricité qui eut lieu en 1881 ; une fois de plus, Paris devenait le centre incontesté où devait se révéler toute la puissance d'une industrie nouvelle. Mascart, qui a toujours aimé la réalisation et l'action à côté de la spéculation et de la théorie, ne pouvait pas rester étranger à ce mouvement : il fit partie du Comité d'organisation, puis du jury, dont il fut nommé rapporteur général. La distribution des récompenses eut lieu le 21 octobre dans une séance solennelle, sous la présidence de M. Cochery, alors ministre des Postes et des Télégraphes ; Mascart y lut son Rapport, où il caractérisa ainsi la manifestation qui prenait fin :

« L'Exposition actuelle n'a pas de précédent. Elle représente
» l'ensemble des applications industrielles d'une science qui est née
» avec le siècle. Quelques-unes de ces applications ont paru dans
» les expositions antérieures, dont elles ne formaient pas la moindre
» partie. Il y a quelques mois seulement, on pouvait encore douter
» que cette industrie fût capable de fournir les éléments d'une Expo-
» sition universelle et d'attirer l'attention du public ; mais les progrès
» accomplis de nos jours et presque sous nos yeux ont donné à
» l'ensemble des objets exposés un éclat incomparable. L'Exposition
» présente même ce caractère inaccoutumé que la Science et l'Indus-
» trie y sont intimement mêlées ; on retrouve dans les applications
» usuelles les déductions de la science la plus élevée et le génie de
» l'invention dans ce qu'il a de plus imprévu. »

» Les Expositions sont éphémères ; leur succès, quelque grand qu'il ait été, ne laisse guère de trace après elles et tombe bientôt dans l'oubli. Il n'en est pas de même des Congrès, du moins de certains Congrès qui peuvent donner pour de longues années toute

une orientation nouvelle à la branche d'activité dont ils se sont occupés ; tel fut le sort du Congrès international des Électriciens tenu à Paris en 1881, à l'occasion de l'Exposition, l'un des plus considérables que l'histoire de la Science ait enregistrés, tant par le nombre et la haute valeur des savants illustres qui s'y rendirent de tous les points du monde, que par l'importance des décisions qui y furent prises.

» C'est dans ce milieu nouveau que Mascart allait pour la première fois révéler des qualités éminentes qui devaient plus tard en faire le représentant indispensable et incontesté de la France dans tous les Congrès de ce genre. Quiconque n'a pas été mêlé de près à ces réunions scientifiques internationales ne peut se faire une idée des difficultés sans nombre que l'on rencontre pour faire aboutir une question quelconque dans des assemblées pourtant formées d'hommes ayant une haute valeur scientifique, en général absolument désintéressés, et alors même qu'aucun intérêt matériel n'est en jeu. C'est qu'un Congrès, quel qu'il soit, ne trouve jamais devant lui table rase pour ses travaux ; le voudrait-il qu'il serait impuissant à imposer de toutes pièces, et par sa seule volonté, une nouveauté radicalement opposée à tous les usages reçus ; il ne peut, en général, que consacrer des habitudes, en choisissant les bonnes et en se fiant à la logique des choses pour étouffer les mauvaises. Celui qui veut réussir dans de pareilles conjonctures doit allier à des connaissances scientifiques impeccables un esprit de diplomatie et de finesse peu commun chez ceux qui sont habitués à vivre dans la paix du laboratoire, loin du monde et des réalités. Ce furent justement là les qualités maitresses de Mascart.

» En présence du développement extraordinaire qu'avait pris l'Électricité, et surtout que l'on prévoyait pour les années à venir, chacun comprenait que c'était une question vitale pour la future industrie électrique que de la doter dès l'origine d'un système d'unités aussi clair et aussi cohérent que possible ; on sentait bien que, si on laissait seulement s'écouler quelques années, il serait trop tard, que des habitudes hétéroclites et incohérentes s'implanteraient un peu partout, et qu'en pleine civilisation du xix^e siècle on se retrouverait, pour une science nouvelle, dans un chaos semblable à celui que les civilisations passées ont légué au monde pour les

poids et mesures et que notre système métrique a tant de peine à détruire.

» Il appartenait à la France de prendre l'initiative d'un Congrès international d'Électricité ayant pour mission de régler ces questions difficiles; c'est ce que comprirent quelques hommes éminents comme MM. de Freycinet, Sadi Carnot et le Ministre d'alors des Postes et des Télégraphes, Ad. Cochery. Le Congrès inaugura ses travaux le 15 septembre 1881; ce n'était pas une assemblée ouverte à tous, comme les Congrès qui ont suivi, mais ses membres, au nombre de 250, avaient été désignés par les divers Gouvernements; vingt-huit pays y étaient représentés; les délégations les plus nombreuses étaient celles de l'Allemagne, de la Belgique et de la Grande-Bretagne. Un grand nombre des délégués portaient un nom célèbre ou destiné à le devenir; citons, pour l'Allemagne : du Bois-Reymond, Clausius, Helmholtz, Hittorf, Kirchhoff, Werner Siemens, Wiedemann; pour la Belgique : E. Gérard, Gramme; pour les États-Unis : Rowland; pour la Grande-Bretagne : Ayrton, Latimer Clark, Crookes, Warren de la Rue, Dewar, Everett, Fitzgerald, Carey Foster, Gordon, Hopkinson, Hughes, Jenkin, Preece, Lord Rayleigh, William Siemens, Spottiswoode, William Thomson, Tyndall, Varley; pour l'Italie : Galileo Ferraris, Govi; pour la Russie : Egoroff, Lenz, Stoletow; pour la Suède : Thalén; pour la Suisse : Hagenbach, Weber; et enfin pour la France, tous les plus grands savants de cette époque.

» Le Congrès se divisa immédiatement en plusieurs Sections; nous ne suivrons que la première, qui fut chargée de l'étude des unités électriques et où Mascart, tout en n'y tenant que la place modeste de secrétaire, joua un rôle considérable dont les procès-verbaux officiels ne peuvent donner l'idée.

» La tâche était difficile; déjà spontanément, divers systèmes d'unités avaient pris naissance et évolué indépendamment les uns des autres; deux systèmes dits absolus étaient en présence : l'un, proposé par Gauss et Weber, une cinquantaine d'années auparavant, fondé sur le millimètre, le milligramme et la seconde; l'autre, proposé par l'Association Britannique sous le nom de système C. G. S., fondé sur le centimètre, le gramme et la seconde; d'autre part, le système mètre, gramme, seconde, auquel l'Association Britannique

s'était un moment arrêtée, avait déjà laissé des traces dans des Traités classiques. Mais, en dehors de ces systèmes, que d'unités empiriques étaient employées ! Pour la force électromotrice, l'élément Daniell ou le couple thermo-électrique bismuth-cuivre ; pour la résistance, l'unité de Jacobi (un fil de cuivre de 1 mètre de longueur et 1 millimètre de diamètre), celle de Varley (un fil de cuivre n° 16 de 1 mille de longueur), celle de Wheatstone (un fil de cuivre de 1 pied pesant 100 g), et enfin la plus connue, celle de Siemens (une colonne de mercure à 0° de 1 m de longueur et de 1 mm² de section) ; cette dernière avait de nombreux défenseurs : son existence déjà répandue, sa reproduction à des milliers d'exemplaires, la précision de sa définition en faisaient pour l'ohm un rival redoutable, d'autant plus qu'avec beaucoup d'habileté, ses partisans la présentaient comme dérivée du mètre et des propriétés spécifiques du mercure à peu près de la même manière que, au moins dans sa première définition, le gramme dérivait du mètre et des propriétés spécifiques de l'eau.

» La confusion n'était pas moins grande dans la nomenclature ; le *Weber* des Allemands ou unité de courant était dix fois plus petit que le *Weber* des Anglais, et pour certains électriciens, comme Latimer Clark, ce mot de *Weber* désignait non une intensité, mais une quantité d'électricité ; pour d'autres, le farad était à la fois une unité de capacité, une unité de quantité et une unité de courant. Enfin, question de principe fort grave, le futur système d'unités se rattacherait-il au système électrostatique ou au système électromagnétique ? La grande autorité de Clausius penchait vers le système électrostatique : tous les praticiens savent combien en eût été funeste l'adoption.

» C'est de ce chaos, de ces habitudes diverses, compliquées quelquefois de l'amour-propre national, qu'il fallait tirer un système unique, logique, clair, adapté aux besoins de la pratique.

» Dès la première séance, la discussion générale qui s'ouvrit dans la première Section du Congrès laissa apercevoir de grandes divergences de vues.

« Les discussions du Congrès sont intéressantes, écrit Mascart le 16 septembre 1881 ; parmi les Allemands, c'est Clausius et Helmholtz qui nous donnent du fil à retordre. Heureusement que les Anglais

sont avec nous et que je ne suis plus seul responsable de ce qui s'y fera pour la France. » Comme toujours en pareil cas, la Section confia à une Commission spéciale l'étude du système des unités électriques; nous en possédons les procès-verbaux officiels, mais combien plus intéressant jugera-t-on le récit suivant que quelques amis de M. Mascart, dont nous nous faisons honneur d'avoir fait partie, eurent la bonne fortune d'entendre de sa bouche le jour où, dans une réunion intime, une médaille; l'une des plus belles qui soit sortie du burin de Chaplain, lui fut offerte en reconnaissance des éminents services qu'il avait rendus à la Science et à l'Industrie électrique :

« Le Congrès avait constitué une Commission très nombreuse » des unités électriques, qui s'est réunie le 16 et le 17 septembre 1881. La première séance a été remplie par une sorte » d'exposé de principe sans résultats. Dans la seconde, la question » a été serrée de plus près; il s'agissait de savoir si les unités seraient » fondées sur un système logique, ou si l'on accepterait, en particulier pour la mesure des résistances, l'unité arbitraire dite » *Siemens*. La discussion a été pénible et confuse; on voyait surgir » des propositions et des objections imprévues, surtout de personnes » qui ne comprenaient pas bien la portée des résolutions à prendre. » M. Dumas, qui présidait avec un tact et une autorité que j'admirais, » interrompit brusquement la séance en disant que l'heure paraissait avancée (4^h 30^m) et qu'on se réunirait ultérieurement. C'était » un samedi soir. En sortant, j'accompagnais notre Président et je » lui dis : « Mon cher maître, il me semble que l'affaire ne marche » pas bien. » « Je suis convaincu, répondit-il, que nous n'aboutissons pas, et vous avez compris pourquoi j'ai levé la séance. » » Je n'ai pas souvenir de ce que fut ensuite notre conversation.

» Le lendemain, dans la matinée, je rencontrai sur le pont de Solférino William Siemens, qui me demanda si j'avais reçu la » visite de Lord Kelvin (alors Sir William Thomson), en ajoutant » qu'on m'invitait à dîner et qu'on espérait arriver à une entente. » Rentré aussitôt, je trouvai la carte de Lord Kelvin avec ces » mots : « Hôtel Chatham, 6^h 30. »

» Je fus naturellement exact au rendez-vous et je trouvai dans le

» petit salon d'attente une société imposante : Lord Kelvin, William
» Siemens pour l'Angleterre, puis von Helmholtz, Clausius, Kirchhoff,
» Wiedemann et Werner Siemens. La discussion reprit, et,
» après beaucoup d'hésitations, Werner Siemens finit par accepter
» la solution proposée, à la condition que le système des mesures
» serait intitulé « pour la pratique ». Je ne fis aucune difficulté à
» cette qualification et rédigeai au crayon, sur le bord du piano, le
» texte de la convention. Le système de mesures pour la pratique
» avait comme base les unités électromagnétiques C. G. S. On défini-
» ssait l'*ohm* et le *volt*, en laissant à une Commission internationale
» le soin de fixer les dimensions de la colonne de mercure
» propre à représenter l'*ohm*...

» Si le système d'unités a fini par aboutir, on doit l'attribuer
» d'abord à l'autorité de M. Dumas, dont le grand talent inspirait le
» respect et empêcha la discussion de s'égarer en paroles trop vives,
» puis à l'influence, sur Werner Siemens, de son frère William, qui
» vivait dans le milieu scientifique anglais engagé par l'initiative
» de l'Association Britannique... »

» Les procès-verbaux officiels montrent d'ailleurs que, même à la séance du lendemain, Werner Siemens n'avait pas désarmé ; une discussion fut nécessaire : la proposition, préparée comme on l'a vu en petit comité, portait qu'une Commission internationale serait chargée de déterminer, *définitivement pour la pratique*, par de nouvelles expériences, la longueur d'une colonne de mercure d'un millimètre carré de section à la température de 0°C. qui représentera la valeur de l'*ohm*. Werner Siemens s'opposa formellement au mot *définitivement*, et l'on dut céder sur ce point pour sauver le reste, en quoi l'on fut sage, car l'on sait que la première détermination de l'*ohm*, dit *ohm* légal, dut être révisée à Chicago en 1893, et que c'est à cette époque seulement qu'une détermination définitive put être adoptée.

» Une unité manquait encore, celle d'intensité de courant, et à ce sujet les difficultés et les confusions étaient grandes ; comme on l'a rappelé plus haut, il existait deux *Webers* : le *weber* anglais (qui est devenu l'ampère actuel) et le *weber* allemand, dix fois plus petit. La sagesse commandait de faire disparaître un nom qui pré-

taît à de telles confusions ; mais c'était un nom allemand ! Il faut rendre justice à la haute sagesse de Helmholtz, qui fit tout pour faciliter la réforme ; les avis étaient d'ailleurs bien divisés ; la veille même de l'assemblée plénière du Congrès, Lord Kelvin proposait encore de donner le nom d'*Ampère* à l'unité C. G. S. d'intensité, de telle sorte qu'un volt agissant sur un ohm aurait donné un courant de $\frac{1}{10}$ d'ampère ; c'était condamner cette unité à tomber en désuétude dès sa formation ; ici encore, les conversations amicales firent mieux que toutes les réunions officielles ; laissons encore une fois parler Mascart :

« Nous étions impatients de soumettre ces propositions au Congrès dans la séance générale du mardi 20 septembre, mais on avait appris dans l'intervalle la mort du Président Garfield et la séance fut levée en signe de deuil. Comme nous n'avions encore que deux unités, l'ohm et le volt, et qu'il était nécessaire de compléter le système, je demandai au président, M. Cochery, si les commissions au moins pouvaient se réunir.

» Je dus m'incliner devant sa réponse négative, et nous restâmes avec Helmholtz, auprès de Lord Kelvin et de Lady Kelvin qui, ayant négligé de déjeuner, prenaient un chocolat dans le restaurant Chiboust, installé près de la salle du Congrès. C'est dans ce petit Comité, autour d'une vulgaire table de marbre blanc, que furent convenues les trois unités suivantes : *Ampère* (au lieu de Weber), *Coulomb* et *Farad*.

» J'étais chargé d'en lire le texte le lendemain 21 septembre en séance générale. Nombre de membres de la Commission, qui ne connaissaient que la séance du samedi, en furent bien un peu surpris, mais les commentaires de Lord Kelvin et de von Helmholtz ne permirent plus aucune hésitation. Le système pratique d'unités était fondé (1). »

(1) Il est possible, en ayant recours aux procès-verbaux officiels, et en comparant les dates et les heures, de préciser sur quelques points les souvenirs de Mascart : entre la conversation à laquelle il est fait allusion et la séance générale se plaça une séance de la Commission qui approuva le texte des propositions sur l'ampère, le coulomb et le farad ; mais la Section n'eut pas le temps d'être consultée, et les propositions furent portées directement à l'Assemblée générale.

» Ainsi se termina ce célèbre Congrès, où Mascart s'était révélé sous un jour nouveau et qui devait avoir une si profonde influence sur tout le reste de sa carrière : c'est de ce moment que date la profonde et réciproque amitié qui le lia jusqu'au dernier jour avec Lord Kelvin, amitié touchante et bien rare entre hommes de nationalité différente.

» A partir de cette époque, Mascart devint en France l'homme indispensable pour toutes les questions concernant les unités électriques. Lors des Conférences internationales qui se tinrent à Paris en 1882 et 1884, il continua le rôle qu'il avait commencé en 1881, et dans ces milieux plus restreints, de moins vaste envergure que le Congrès, mais ayant aussi une tâche mieux définie et plus concrète, il acquit en peu de temps une autorité considérable; lors de l'exposition de 1889, il était tout désigné pour organiser et présider le Congrès international des Électriciens qui se tint à cette occasion et qui, bien moins important que celui de 1881, nous donna le *watt* et le *joule*; en 1893, il représentait la France au Congrès de Chicago, qui revisa l'*ohm* et définit l'unité de self-induction ou *henry*; et enfin en 1900, pour la troisième fois, un grand Congrès international d'Électricité se réunissait à Paris et Mascart en était président. La question des Unités électriques n'était pas close cependant, et ne l'est pas encore aujourd'hui; pendant ces dernières années, et jusqu'à son dernier jour, Mascart s'en occupa avec une activité et une ténacité où perçait quelque émotion, le souvenir sans doute des époques héroïques du début, où tout était à fonder, et où les fondateurs étaient les disparus d'aujourd'hui.

» Le Congrès de Saint-Louis, en 1904, avait émis le vœu que des mesures internationales fussent prises pour assurer la concordance des définitions des unités électriques dans les différents pays. En 1905, une Conférence, de caractère officieux, se réunit à Berlin pour préparer la Conférence officielle projetée; Mascart y représenta la France, et en fut désigné à l'unanimité comme président : cette dérogation aux usages des conférences de ce genre, où d'ordinaire le président appartient au pays où a lieu la réunion, marque bien la place qu'il tenait dans la Science. Ce fut son dernier acte public en pays étranger; mais, de retour à Paris, il organisa et présida la Commission qui fut instituée par le Sous-Secrétariat des Postes et

des Télégraphes pour l'étude de ces questions et la préparation de la Conférence internationale qui devait se tenir à Londres et qu'il ne devait pas voir; il fut l'âme de ces réunions et le lien propre à réunir en faisceau les efforts scientifiques qui, dans notre pays, ont trop souvent tendance à se disperser dans un individualisme exagéré; jusqu'à son dernier jour, il suivit les travaux qui avaient été entrepris à cette occasion et, presque mourant, sut leur imprimer une impulsion efficace.

V

» L'Exposition de 1881 avait été une véritable révélation : dans ce court espace de trois mois, pendant lequel près d'un million de visiteurs s'étaient pressés au Palais de l'Industrie, la puissance prodigieuse de l'Électricité était apparue aux yeux du grand public, et, pour tout esprit clairvoyant, il n'était pas douteux que les années qui allaient suivre ne dussent être marquées par un développement extraordinairement rapide des applications de ce nouvel agent. Mais laissons place encore ici aux souvenirs personnels de Mascart :

« Quelques semaines plus tard, quand le succès de l'Exposition » eut assuré des bénéfices importants à la Société de garantie, » M. Dumas, qui entrevoyait l'avenir de l'industrie nouvelle, eut » l'idée d'une belle œuvre nationale : c'était une société au capital » de 3 millions dans le but d'instituer un grand Laboratoire de » recherches scientifiques et pratiques pour aider au développement » de l'Électricité. Les bénéfices de l'Exposition devaient en former » le premier appoint et les circonstances étaient particulièrement » favorables pour trouver auprès des compagnies industrielles les » souscriptions nécessaires.

» Tout parut d'abord marcher à souhait, mais des susceptibilités » personnelles et l'ombrage causé par le nom de Dumas, alors peu » en faveur auprès des pouvoirs, amenèrent finalement l'échec de » l'entreprise.

» Le Ministère des Postes et des Télégraphes se fit attribuer les » bénéfices de l'Exposition en se chargeant de créer lui-même et » d'entretenir ce laboratoire. On sait ce qui en est advenu.

» M. Dumas fut très ému de cette déconvenue et surtout des

» termes par lesquels la décision lui était communiquée. Comme
» nous en causâmes le lendemain, en nous communiquant nos im-
» pressions, j'exprimai ma surprise qu'il ait eu l'espoir de réunir
» un capital si important. Il me répondit : « J'avais en poche cinq
» cent mille francs de Giffard. » C'est une parole dont je me suis
» souvenu en temps opportun. »

» Il n'est pas téméraire de penser que, ce jour-là, Mascart entre-
vit une nouvelle source d'activité qui s'ouvrait devant lui et songea
que, ce que Dumas n'avait pu réussir, il le réaliserait peut-être lui-
même. Quoi qu'il en soit, les années qui suivirent furent pour lui
des années de recueillement ; le travailleur infatigable et conscien-
cieux qu'il était les employa à apporter sa contribution aux travaux
décidés par le Congrès, et à préparer, par ses mesures de l'ohm et
de l'ampère, les travaux des Conférences internationales de 1882
et 1884. Mais, pendant ces mêmes années, le monde scientifique et
industriel, à qui, somme toute, était dû l'éclatant succès de l'Expo-
sition de 1881, supportait avec quelque impatience l'idée que les
sommes laissées disponibles par l'Exposition restaient improductives,
et que l'État ne faisait rien pour réaliser ce séduisant projet
d'un Laboratoire national qui avait été le rêve des derniers jours de
Dumas.

» On peut attribuer à cette communion d'idées le groupement
spontané qui se forma à cette époque et qui devait devenir la Société
internationale des Électriciens : dès le jour de sa fondation, cette
Société, guidée par une série de présidents éminents, eut un but
bien défini qu'elle poursuivait avec ténacité, sans un instant de
défaillance : organiser le Laboratoire qui, dans la pensée des orga-
nismes, devait prolonger l'œuvre de l'Exposition et du Congrès.
Ce Laboratoire existait déjà... sur le papier. Un décret du 24 fé-
vrier 1882 l'avait institué sous la haute direction du Ministre des
Postes et des Télégraphes ; mais rien n'avait été fait pour le réaliser ;
la Société offrit de s'en charger ; les droits de l'État seraient entiè-
rement respectés, l'Établissement projeté resterait établissement
d'État ; sa gérance seule et son administration, tant au point de vue
matériel qu'au point de vue technique, seraient confiées à la Société
internationale des Électriciens qui, par sa composition même, mi-

partie scientifique, mi-partie industrielle, assurait toutes les garanties d'une vie active à la nouvelle institution. Cette organisation est excellente : l'État ne peut être savant, et il lui est difficile d'être industriel; une coopération de l'État, qui donne l'autorité morale, et d'une Société scientifique et technique, qui donne la direction effective, est un type d'organisation qui mérite d'être imité dans bien des cas. Telle fut la conception que la Société des Électriciens essaya avec succès de réaliser : grâce aux efforts de ses premiers présidents, MM. Georges Berger et Maurice Lœwy, deux décrets autorisaient dès 1886 l'application des sommes provenant de l'Exposition de 1881 à l'organisation et à l'entretien du Laboratoire central d'Électricité. Mascart s'était jusque-là tenu à l'écart de ce mouvement, probablement, comme il l'a rappelé lui-même, à la suite de la déconvenue de Dumas dont nous avons parlé plus haut; mais la Société des Électriciens comprit l'intérêt qu'avait la fondation nouvelle à s'assurer l'appui et les conseils de celui qui avait été l'âme même du mouvement originel; il entra à la Société le 2 février 1887 et en fut nommé Président à l'Assemblée générale du 4 mai suivant : sa première réforme fut d'obtenir que les séances, marquées pour 8 h 30 m, commençassent à 8 h 30 m. Mascart est tout entier dans ce détail. Dès lors, il devint dans ce milieu, nouveau pour lui, le conseiller indispensable et écouté. Nommé Président de la Commission administrative du Laboratoire, il en guida et en soutint les destinées pendant plus de 20 ans. Tout restait à faire : les locaux, quelques hangars prêtés par M. H. Menier à la place Saint-Charles, étaient provisoires; les arrangements avec l'État étaient précaires, et il avait fallu tout le dévouement de M. G. de Nerville, qui avait à cette époque la direction du Laboratoire, pour l'organiser et le faire prospérer malgré les difficultés de toutes sortes que l'on rencontrait et dont la moindre n'était pas l'insuffisance des ressources; peu à peu, sous l'influence d'une volonté directrice, éclairée et tenace, la situation du Laboratoire s'affermir et, en 1892, une convention définitive était signée entre l'État et la Société internationale des Électriciens pour régler le rôle de l'un et de l'autre dans l'entretien du Laboratoire. Citons encore une fois, à ce sujet, les souvenirs mêmes de Mascart :

« La Société obtint du Conseil municipal l'attribution d'une

» partie des locaux de l'ancien Collège Rollin pour l'installation du
» Laboratoire. Mais la Ville de Paris ne tarda pas à avoir regret de
» cette concession et nous proposa d'accepter en échange un terrain
» nu situé rue de Staël. Ici se place une anecdote qui mérite d'être
» rappelée.

» Au Collège Rollin, il y avait des bâtiments utilisables. Tout
» était à faire rue de Staël. Dans une séance de la Commission du
» Laboratoire, réunie à cet effet, M. Fontaine me demanda si l'em-
» placement de la rue de Staël me paraissait préférable au point de
» vue pratique.

» Sur mon observation que j'étais fort embarrassé pour donner un
» avis ferme, parce qu'il devait en résulter un surcroît de dépenses
» d'au moins 80000 francs, il me répondit qu'on trouverait l'argent,
» à condition que j'accepte de tenir l'escarcelle.

» Voilà comment je devins frère quêteur. Entrant aussitôt en
» fonction, je fis passer à mon voisin de droite un bout de papier
» intitulé : « Souscription pour le Laboratoire. »

» En le surveillant d'un regard oblique, je le vis inscrire, à la
» suite de son nom, un 2 suivi de plusieurs zéros, en vérifier soi-
» gneusement le nombre, et en ajouter un quatrième, formant un
» total de 20000 francs. C'était Paul Lemonnier, ancien Président
» de la Société, qui ébréçait ainsi sa modeste fortune en faveur de
» notre Institution. Lemonnier était un noble caractère, aimé de
» tous, et nous devons un souvenir reconnaissant à sa mémoire. »

» La souscription, ainsi engagée, ne pouvait que réussir, et Mas-
cart s'y donna tout entier; c'était l'époque où l'important legs
Giffard permettait d'importantes fondations : la Société des Élec-
triciens demanda une attribution de 100000 francs sur ce legs :

« Pour démontrer au Ministre que notre intervention rentrait
» bien dans les intentions du testateur, je lui racontai ma conver-
» sation avec Dumas, en ajoutant qu'il devait me croire sur parole,
» puisque j'étais seul survivant des deux interlocuteurs. Le Ministre
» parut se laisser convaincre, mais il trouvait la somme trop élevée
» et se montra disposé à nous accorder 50000 francs. Un peu
» suffoqué et pris de court, j'eus la pensée de lui dire : « Monsieur
» le Ministre, ce ne serait pas digne du nom de Giffard, que nous

» voulons inscrire sur le pavillon à édifier. » Il voulut bien sourire
» à mon observation, ce qui est toujours bon signe, et accueillir
» notre demande sans réduction. »

» Ces quelques traits marquent d'une façon caractéristique l'habileté de Mascart, faite à la fois de bonhomie et de ténacité : nul mieux que lui ne sut solliciter et encourager les initiatives privées ; il y trouvait le vrai ressort du progrès, et aurait attaché moins de prix à une large subvention officielle qu'à une modeste souscription obtenue par ses soins. Il savait d'ailleurs admirablement inspirer confiance, et tous ceux qui lui faisaient crédit étaient sans aucune inquiétude sur l'emploi des fonds qu'ils lui remettaient ; ils savaient que Mascart avait, au contact des industriels, appris toute la valeur d'une sage administration, et que, de leur côté, ceux-ci lui devaient une haute conception du but à atteindre et des efforts désintéressés qu'ils devaient déployer pour y parvenir.

» Le Laboratoire, dans la pensée de Mascart, n'était qu'une première étape ; et, dès la séance solennelle d'inauguration des nouveaux bâtiments de la rue de Staël, le 14 juin 1893, il laissa pressentir de nouveaux développements et une autre branche d'activité ; déjà, depuis sa fondation, le Laboratoire avait accueilli un certain nombre d'élèves libres, sans enseignement régulier, plutôt aides qu'étudiants ; il restait à régulariser cette organisation qu'un besoin spontané avait fait naître ; de grandes Écoles électrotechniques existaient déjà à l'Étranger, et, s'il m'est permis de le rappeler ici, j'avais, pour ma faible part, provoqué dès 1892, à l'Université de Grenoble, un mouvement très vif dans ce sens.

» L'École supérieure d'Électricité, dont on connaît le magnifique développement, doit évidemment son origine aux mêmes tendances. Nous n'avons pas ici à en retracer l'histoire, qui pourtant, en bien des points, se confondrait avec l'histoire même de l'homme éminent dont nous avons essayé de tracer la physionomie ; une fois encore, Mascart « tint l'escarcelle » et eut l'idée d'intéresser d'une manière intime les fondateurs de l'École à son fonctionnement et à son avenir, en les invitant à prendre place dans son Conseil de perfectionnement : d'après les règlements qui furent rédigés sous son inspiration, font partie de ce Conseil « toute personne ou société, admises

par le Conseil, et s'engageant à verser un capital de 10000 francs ou une annuité de 1000 francs ». Grâce à cette organisation, l'École supérieure d'Électricité réalise la condition rare, peut-être unique en France, de vivre de ses propres ressources; ici encore, Mascart avait su faire naître et coordonner les efforts dispersés de l'initiative privée, et l'on assiste aujourd'hui à ce spectacle extrêmement intéressant d'une École technique supérieure, tout à fait indépendante de l'État, et où cependant l'État, par une sorte de consécration, envoie avec des délégations officielles ses officiers et ses ingénieurs. On peut dire que ce résultat résume et représente intégralement les tendances et ce qu'on pourrait appeler la politique de Mascart.

» Son entrée à la Société des Électriciens le mit en contact intime avec le monde industriel, où il joua bientôt un rôle important, et, de son côté, l'État lui fit appel pour toutes les questions touchant ses relations avec l'industrie; il lui donna son temps et ses efforts sans compter et fut président ou membre d'innombrables Commissions : Comités d'organisation et jurys des Expositions de 1889 et 1900, Comité consultatif des Arts et Manufactures, Comité des Inventions relatives à la défense nationale, Commission pour les installations électriques et les paratonnerres des bâtiments civils, Commission pour le régime de l'Électricité de la Ville de Paris, voilà quelques noms que nous relevons au hasard; son autorité était telle qu'elle s'étendait à l'Étranger, et, honneur bien rare, il fut en 1900 nommé vice-président de « l'Institution of Electrical Engineers » : c'était la première fois que ce poste était donné à un étranger. L'industrie privée elle-même ne pouvait manquer de faire tous ses efforts pour attirer à elle un homme dont la réputation d'organisateur, jointe à une haute compétence scientifique, s'étendait au loin; il résista longtemps, et ce ne fut que dans les dernières années de sa vie qu'il consentit à s'intéresser à deux grandes entreprises industrielles, les Mines de la Grande-Combe et les Forges de Montataire : là encore il rendit d'éminents services.

» D'un autre côté, Mascart n'oubliait pas qu'il était avant tout universitaire et il s'intéressa toujours aux questions d'enseignement : bien souvent le Ministre de l'Instruction publique lui demanda des rapports sur l'enseignement scientifique dans les Universités de province; il s'acquittait avec plaisir de ces missions

déliçates, et savait admirablement reconnaître le vrai professeur de Physique, celui qui sait appuyer son enseignement sur l'expérience, tout en le maintenant au niveau élevé qu'exige l'Enseignement supérieur.

» Ainsi se complète la physionomie de cet homme qui sut à la fois réunir en lui le savant, le professeur, l'homme d'action, l'organisateur et l'industriel même : souplesse d'esprit bien rare et digne d'être admirée.

VI

» Mascart était de taille moyenne; ses traits, à la fois fins et accentués, une barbe drue et courte, une bouche énergique, des yeux d'une vivacité et d'une intelligence rares, un front largement développé, une tête, enfin, dont la forme puissante laissait une trace indélébile dans le souvenir de quiconque l'avait approché une fois, tout contribuait à donner en lui l'impression non pas tant de la force physique que de la force morale, et celle-ci était grande. Combien de fois n'a-t-on pas fait le parallèle entre l'homme de réflexion et l'homme d'action! Mascart réunissait en lui l'un et l'autre. La forte formation intellectuelle qu'il avait reçue à l'École Normale, l'impression profonde qu'avaient laissée en lui les maîtres éminents qu'il y avait connus, l'avaient prédestiné à être un homme de science et de laboratoire; on peut dire que la guerre de 1870 lui révéla à lui-même qu'il était capable aussi d'être un homme d'action; dès lors, les deux activités se mêlèrent en lui, et c'est là l'explication de sa fortune exceptionnelle et de la rapidité avec laquelle il s'éleva aux plus hautes situations; fortune justifiée, car toutes les nations ont besoin de tels hommes et ils sont rares.

» Mascart n'a eu dans toute son existence qu'une passion, le bien public, et il a eu l'énergie de limiter son action aux régions où elle pouvait être efficace : des choses et non des mots, des faits et non des théories, voilà quelle eût pu être sa devise, et cette forte discipline fut toujours celle qui régla sa vie. « Il faut aboutir », disait un homme politique bien connu. Mascart aboutissait : l'intention n'est rien, si elle ne se développe pas en un résultat; les plus grands projets à échéance lointaine ne valent pas un projet plus modeste à réalisation immédiate; la création des choses humaines est faite

d'approximations successives et l'axiome bourgeois : « Un tiens vaut mieux que deux tu l'auras » n'est pas à dédaigner. Telle fut la philosophie pratique de Mascart; elle lui donnait une certaine rudesse apparente, sous laquelle un petit nombre d'amis seuls ont pu soupçonner ce qu'il y avait de bonté et de sensibilité; mais, autant qu'on peut analyser une âme qui ne se livre pas, Mascart ne se croyait pas le droit de s'abandonner à cette sensibilité que tant d'autres, au milieu des servitudes de la vie, considèrent comme le champ secret où ils peuvent être eux-mêmes en toute liberté. La sensibilité est grande destructrice de l'énergie, et Mascart considérait que toute son énergie était nécessaire et due aux œuvres qu'il avait entrepris de mener à bien. Un événement tragique, la mort accidentelle d'une de ses petites-filles, une charmante enfant de treize ans, sous l'éboulement imprévu d'une carrière de sable, fut pour lui un coup terrible, dont ses intimes purent sonder la profondeur; mais on sentit très bien à cette époque que, par un acte de volonté, il s'imposa l'obligation de ne pas laisser entamer par là l'homme pensant et agissant qu'il avait toujours été, qu'il voulait être jusqu'au bout de sa carrière, et cette dernière partie de sa vie fut la plus active.

» Mascart connaissait admirablement les hommes; nul, mieux que lui, ne savait diriger les débats d'une assemblée : il était le président idéal; de l'obscurité d'une question complexe et touffue, il savait dégager les lignes principales et y portait tous ses efforts en élaguant sans hésitation les détails; habile à faire pencher insensiblement les décisions dans le sens qu'il désirait, ayant l'instinct sûr et rapide de l'opinion à laquelle il pouvait se rallier, sachant au besoin mettre le poids de son autorité dans la balance, allant quelquefois (bien rarement) jusqu'à la menace de se retirer d'une assemblée sur le point de prendre une décision qu'il considérait comme funeste, il a incontestablement exercé une influence sur le monde scientifique et technique. Dans les congrès et réunions internationales, il était fort écouté; il savait mieux que personne écarter les propositions dangereuses tout en ménageant la susceptibilité ou l'amour-propre de leurs auteurs, et trouver la formule heureuse qui devait rallier tout le monde. Partout et toujours, il avait le souci de la grandeur et de l'intérêt véritable à la fois de la

Science et de son pays, intérêts qui sont toujours conciliables. Il appartenait à cette génération qui avait vu de près la guerre et en était sortie avec des idées non d'un faux patriotisme vain et agressif, mais de relèvement et d'énergie morale, à cette génération de savants dont d'Almeida s'est fait l'éloquent porte-parole à la première page du *Journal de Physique*, en 1872 :

« Initié par ma position aux pensées de ceux qui ont inscrit leurs
» noms sur les pages de ce Journal, je crois devoir faire connaître
» le but qu'ils se proposent, et les sentiments qui les animent...
» S'ils ont été conduits à se rechercher par l'amour de la Science,
» un autre sentiment vient encore fortifier leur union : l'amour
» du pays. Aussi loin que peut s'étendre leur action, ils veulent,
» pour leur part, contribuer au développement des forces intellec-
» tuelles et morales de la France : des forces intellectuelles par le
» travail, des forces morales par l'union désintéressée des efforts
» communs. »

» Mascart a connu le bonheur, si le bonheur consiste dans la réalisation du but poursuivi ; les honneurs sont venus à lui ; il ne les a pas repoussés, mais ne les a jamais considérés comme le terme du chemin : l'accomplissement de la tâche d'hier ne le dispensait pas à ses yeux de l'entreprise de la tâche de demain, et jusqu'à son dernier jour il a lutté pour faire profiter les choses et les hommes qu'il aimait des restes d'une belle énergie qui s'évanouissait ; il est mort simplement, comme il avait vécu ; ses obsèques civiles, sans appareil et sans discours, étaient l'image de sa vie ; seuls, les honneurs militaires lui furent rendus : il avait toujours tenu en haute estime la Légion d'honneur, dont il était Grand Officier. Pas un indifférent ne suivit le cortège ; tous sentaient que c'était une force profondément active et bienfaisante qui disparaissait ; mais tous, en revanche, songeaient aux traces ineffaçables que cet homme laissait derrière lui : n'est-ce pas là la véritable immortalité ?

PAUL JANET.

NOTE SUR LES LIAISONS DES POSTULATS DE LA MÉCANIQUE AVEC LES ÉQUATIONS
DITES « DE DIMENSIONS » DES GRANDEURS ÉLECTRIQUES.

LES ÉQUATIONS DE DIMENSIONS ET LES POSTULATS
DE LA MÉCANIQUE CLASSIQUE.

M. P. JUPPONT. — « Les équations dites de dimensions ⁽¹⁾ des grandeurs électriques sont obtenues en assimilant la force gravifique des postulats de la Mécanique aux forces produites par les manifestations des charges électriques et magnétiques.

» Dans la loi de Galilée

$$F = MLT^{-2} \quad (2),$$

qui définit la force de la pesanteur, on admet que la masse mesurée dynamiquement $M = \frac{F}{a}$ est une constante absolue.

» Cette hypothèse a été étendue à la masse gravifique, mesurée statiquement à l'aide de la loi de Newton

$$M^2 = FL^2.$$

» Guidé par ces postulats qui sont la base de la Mécanique, l'électricien affirme que la quantité électrostatique Q est de même nature que la quantité électromagnétique q .

» Cette hypothèse est contredite par l'expérience, qui conduit aux formules

$$Q = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}, \quad q = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}}$$

et à la relation

$$\frac{Q}{q} = v.$$

» L'expérience prouve encore que Q et q sont des valeurs très différentes, et que le rapport $\frac{Q}{q} = v$ est la vitesse de la lumière.

(1) Le mot *dimension* représentant les trois composantes de l'espace euclidien, longueur, largeur, hauteur, ne peut être logiquement appliqué à la masse et au temps.

(2) Dans tout ce qui va suivre le signe $=$ est considéré comme voulant dire *équivalent à*; il serait préférable de créer un signe d'équivalence; j'ai proposé $\equiv$.

» Pour rétablir l'identité apriorique de Q et de q , on a pris l'habitude d'écrire les lois de Coulomb

$$F = \frac{1}{k} \frac{mm'}{L^2}$$

en Électrostatique, et

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{pp'}{L^2}$$

en Électromagnétique.

» On dit en outre que, dans ces équations, k est le pouvoir inducteur spécifique, μ la perméabilité magnétique du milieu propagateur des phénomènes, et l'on ajoute : si $k = 1$, le pouvoir inducteur spécifique est un nombre, la mesure est faite dans le système électrostatique; si $\mu = 1$, la perméabilité magnétique est un nombre et l'on opère dans le système électromagnétique.

» Cette correction *a posteriori* des lois de Coulomb donne lieu à des objections graves.

» Les solutions susceptibles de satisfaire mathématiquement à l'introduction de k et de μ sont en nombre indéterminé, puisque toutes les valeurs de k et μ , dont le produit est $\frac{1}{v^2}$, satisfont à l'homogénéité cherchée; et, comme aucune expérience n'a fourni les dimensions de k et de μ , l'électricien explique l'indétermination à laquelle il se heurte, en disant que le rapport v dépend des systèmes de mesure.

» L'insuffisance d'une semblable modification des lois de Coulomb est évidente, puisque, faute de pouvoir pénétrer au cœur de la difficulté par un moyen expérimental, et parvenir à la solution physique, on tourne l'obstacle en suivant la voie mathématique, qui aboutit à une infinité de réponses.

» Pour remédier à ce grave défaut, on a proposé l'emploi de coefficients complémentaires, et l'hypothèse d'une quatrième unité fondamentale distincte de M , L et T .

» Si impérieuse que soit la nécessité de ces corrections, la valeur logique des plus satisfaisantes ne peut élever les formules qui en résultent au rang d'une représentation expérimentale.

» A mon avis, la solution du problème de la mesure des grandeurs électriques ne peut être trouvée par la méthode des hypothèses correctrices, *a posteriori*.

» Au lieu de modifier mathématiquement des formules physiques

dans le but de trouver, après coup, des conditions capables de satisfaire au postulat apriorique de l'identité de Q et de q , il me paraît plus logique de dire, conformément au résultat du calcul qui traduit ces faits : Q et q sont physiquement de nature différente, par suite, il existe deux modes de mesure de l'électricité et de la matière.

» Pour adopter cette hypothèse, il faut abandonner les postulats de la Mécanique classique qui ont pour base essentielle l'identité et l'unité absolue de la masse de Galilée et de Newton, puisque cette masse est pour eux une grandeur dont la mesure fournit par principe un résultat constant, non seulement dans toutes les conditions expérimentales connues, mais encore dans tous les phénomènes à découvrir, et dans toutes les hypothèses physiques possibles, où rentrent des conditions d'espace et de temps.

» Cet abandon sera difficilement consenti par la majorité des esprits, car l'énoncé des principes de la Mécanique n'est entouré d'aucune restriction; et un atavisme de crédulité en fait des vérités indiscutables, des axiomes en quelque sorte au-dessus de l'expérience.

» Nous pensons que c'est là une erreur; ces principes n'ont pas le caractère de généralité absolue qu'on leur donne; ils ne sont exacts que dans des conditions idéales que nous indiquerons bientôt; on les sacrifiera plus facilement, si l'on reconnaît que l'introduction d'un coefficient physique dans la loi de l'inverse du carré de la distance nécessite l'abandon desdits postulats.

» En effet, la loi de Newton est déduite de la combinaison des lois de Galilée et de Képler. Or, pour la Mécanique classique, la loi de Galilée ne peut pas comporter de coefficient; celui des lois de Képler est numérique; à aucun moment du calcul, il n'a pu s'introduire une nouvelle grandeur physique dans le résultat qui est la loi de Newton; donc, l'égalité

$$F = MLT^{-2} = M^2 L^{-1}$$

est aussi absolue que les formules dont elle découle et les coefficients ajoutés à la loi de Newton sont fatalement des nombres.

» Ces brèves considérations indiquent que la raison des difficultés auxquelles se heurte l'interprétation des deux systèmes de mesures électrostatique et électromagnétique doit être cherchée

dans la signification des lois de Képler, puisque ce sont ces lois qui conduisent à l'énoncé de la force en raison inverse du carré de la distance et à l'indétermination physique des systèmes de mesures qui en résultent; mais, avant d'interpréter les lois de Képler, examinons rapidement les postulats de la Mécanique.

LA VALEUR DES POSTULATS DE LA MÉCANIQUE CLASSIQUE.

» Sans développer ici une réfutation des principes aprioriques de la Mécanique classique, pour la justification des idées qui motivent la présente Note, il est cependant nécessaire de montrer que l'édifice des postulats mécaniques n'a pas la solidité dogmatique qu'on lui attribue.

» Ces principes sont au nombre de quatre :

» 1° L'inertie de la matière, ou conservation de force ;

» 2° La définition de la force de Galilée $F = Ma$, d'où

$$M = \frac{F}{a} = \text{constante absolue};$$

» 3° L'indépendance des effets des forces ;

» 4° La contrégalité ⁽¹⁾ de toute force active à une force réactive correspondante.

» Un examen rapide de l'ensemble, joint à des critiques du deuxième et du quatrième de ces postulats, constituera une réfutation suffisante pour le but poursuivi.

» En appliquant ces postulats à la matière, on fait deux hypothèses successives et dépendantes.

» *A priori*, on admet qu'il existe une substance qui, dans un milieu idéal, obéit à la force et à l'invariabilité absolue de la masse.

» *A posteriori*, on suppose que la matière, dans l'atmosphère, les milieux intermoléculaires et interplanétaires, possède toutes les propriétés attribuées à la substance apriorique par rapport au milieu idéal.

(1) J'ai proposé le terme *contrégalité* (*Congrès de l'A. F. A. S.*, Montauban, 1902, p. 414) pour exprimer que deux vecteurs sont égaux en grandeur, mais de sens contraire, dans le prolongement l'un de l'autre.

» Ces hypothèses sont loin d'avoir les caractères de simplicité et d'évidence qu'on doit exiger de postulats.

» De plus, ces énoncés n'ont entre eux aucune liaison; on puise donc la vérité mécanique à quatre sources différentes.

» Ils sont basés sur une grandeur abstraite, éphémère, la force; alors que toutes les sciences qui s'appuient sur la Mécanique admettent comme principe fondamental la conservation de l'énergie dont la force n'est que l'un des facteurs; cependant, l'énergie sert de mesure commune à tous les phénomènes physiques et chimiques, bien que cette grandeur réelle soit ignorée des postulats.

» Les mobiles observés cessent d'être perceptibles, sont même impesables, ont des vitesses qui peuvent atteindre la célérité ⁽¹⁾ de la lumière, et nous disons encore avec Aristote, qui ne connaissait que les mouvements lents des corps pesants : « On appelle *force* toute » *cause* capable de modifier l'état de repos ou de mouvement d'un » corps. » Cette définition bimillénaire est le lien unique et fragile par lequel l'enseignement réunit la Mécanique théorique aux phénomènes réels; et cependant nous disons, avec autant de vraisemblance, « la force électromotrice est la cause qui met l'électricité en » mouvement », alors que ladite force électromotrice n'est pas une force, mais une différence de potentiel; la définition de la force ne satisfait donc pas à la règle logique qui veut qu'une définition contienne le défini, tout le défini et rien que le défini; elle est insuffisante.

» C'est par un abus séculaire de la signification du mot *force*, que le langage scientifique a fait d'une abstraction une réalité, puis une vérité totale, c'est-à-dire un principe absolu, capable de devancer l'expérience et de la dominer tout entière en tous lieux et en tous temps.

» Examinons le principe de l'action et de la réaction; d'après Galilée, il suppose que les forces existantes entre deux éléments matériels dépendent exclusivement de leur position relative et sont indépendantes de leurs vitesses absolues.

(1) Il serait préférable d'employer un mot spécial pour exprimer la rapidité de propagation d'un mouvement vibratoire, phénomène bien différent de la *vitesse* d'un point matériel.

» L'impossibilité d'une justification expérimentale, même approchée, rend cet énoncé critiquable et ne permet pas, à mon sens, de le considérer comme criterium de la valeur d'une théorie.

» D'autres fois on l'attribue à Newton. C'est là une erreur grave qui dénature profondément la pensée de l'immortel physicien.

» Newton dit, dans la scholie qui fait suite aux corollaires de sa troisième loi (1) : « Si l'on estime l'action de l'agent par sa *force* » *multipliée par sa vitesse* et qu'on estime de même la *réaction* du » corps résistant par *la vitesse de chacune de ses parties, multipliée* » *par les forces qu'elles ont*, etc., l'action et la réaction se trouvent » ront égales entre elles dans les effets de toutes les machines. »

» L'action et la réaction de Newton sont donc ce que nous appelons aujourd'hui la *puissance* (travail par unité de temps), et l'on ne s'explique pas comment un énoncé aussi précis de la conservation de l'énergie a pu être restreint, au point de devenir un postulat relatif à la force (2), surtout lorsqu'on admet que deux forces contrégales se font équilibre.

» L'énoncé de Newton est une géniale synthèse des phénomènes dynamiques; le principe qui en a été tiré fige statiquement toutes les réalités mobiles et vivantes dans un repos contredit par les faits.

» En ce qui concerne la définition de la force de Galilée $F = Ma$, son insuffisance mathématique est non moins évidente, puisque d'une équation à deux inconnues F et M on tire à volonté l'une ou l'autre de ces grandeurs, et que, pour lever l'indétermination des mesures qu'elle permet, on transforme la tautologie

$$M = \frac{F}{a} = \frac{Ma}{a} = M$$

en une constante absolue, indépendante de toutes les conditions possibles d'espace et de temps.

» Admettre que M est physiquement constant, étendre cette hypothèse à Q et q , c'est simplifier au maximum les manifesta-

(1) *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle de Newton de feu M^{me} la marquise du Châtelet*, Paris, 1759, p. 18.

(2) P. JUPPONT, *Congrès de l'A. F. A. S.*, 1902, p. 410 et suivantes.

tions de la matière et substituer à la réalité une manière d'être hypothétique de l'univers, manière d'être dans laquelle toutes les substances formées de matière et d'éther obéissent partout et toujours à ces lois ultra-simples; c'est supposer en outre que ces lois sont rigoureusement fixes, éternellement identiques à elles-mêmes, dans toute l'étendue du cosmos.

» L'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi.

» La loi $F = Ma$ ne représente que les mouvements des corps tombant dans le vide; dès qu'on veut l'appliquer à des corps mobiles dans un milieu, si tenu qu'il soit (l'expérience du tube de Newton le prouve jusqu'à l'évidence), il faut appliquer à cette formule une correction dont la forme la plus générale est $F' = k''F$.

» Le coefficient k'' varie avec les conditions expérimentales; il a pour rôle de relier la grandeur de la force observée F' à la grandeur de la force théorique F .

» La liaison fournie par k'' est plus mathématique que physique; le plus souvent, elle n'est qu'approximative.

» Si la densité gravifique de la masse M est grande par rapport à celle du milieu dans lequel elle est en mouvement, et si, en même temps, la vitesse relative de M par rapport au milieu est faible, la réaction du milieu sur la masse mobile est négligée; la formule

$$F = MLT^{-2} = M^2L^{-1}$$

est considérée comme suffisamment représentative de la réalité.

» C'est là une erreur physique grave, puisque, si l'on supprime sans restriction la grandeur qui représente le rôle du milieu, on fait une hypothèse qui équivaut à la suppression du milieu lui-même, alors que, sans un milieu de propagation, aucun phénomène spatial ne peut exister.

» Il n'est plus possible de se contenter d'une approximation mathématique, si les réactions du milieu deviennent appréciables et surtout si elles sont du même ordre de grandeur que la cause du mouvement des masses observées; dans ce cas, l'expérimentateur tient compte du coefficient k'' à l'aide de procédés variables avec les faits.

» En balistique, par exemple, on constate que, pour tout projectile, la quantité de mouvement Mv calculée à l'aide de la vitesse de

départ est toujours plus grande que la quantité de mouvement Mv' réalisée dans l'air.

» Mais, au lieu d'opérer comme l'électricien, qui corrige la formule à l'aide d'un coefficient et écrit

$$FT = k'' Mv,$$

l'artilleur introduit dans l'équation représentative une force correctrice F'' dite *force résistante* de l'air et il représente les conditions du mouvement réel à un moment quelconque par l'expression

$$FT - F''T = Mv'.$$

» Si l'on pose

$$F - F'' = F',$$

l'image mathématique des faits devient

$$F'T = Mv',$$

pour chacune des vitesses observées.

» En diminuant la force qui a agi au départ, de manière à l'harmoniser avec la vitesse observée en un point quelconque de la courbe décrite par le projectile, on a rapproché la formule de la réalité; mais on a surtout sauvegardé le principe $FT = Mv$ qui est identique au postulat de la force $F = Ma$.

» Cependant, l'existence des couples qui mettent l'air en rotation tourbillonnaire, dans tout le sillage du projectile, n'autorise pas l'assimilation de la résistance effective de l'air à une force unique, décrivant identiquement la même trajectoire que le centre de gravité dudit projectile.

» Il serait beaucoup plus exact, et surtout plus physique, de dire : l'impulsion initiale est à chaque instant égale à la quantité de mouvement Mv' du projectile, au point qu'il occupe, augmentée de la quantité de mouvement $\Sigma mv''$ de l'ensemble Σm des molécules d'air m qu'il a déplacées entre le moment du départ et l'instant considéré.

» Si la mise en équation correspondant à cette interprétation des faits est possible et fournit la formule

$$FT = Mv' + \Sigma mv'',$$

son adaptation à l'expérience est impossible, car nous ne pouvons

déterminer tous les m en mouvement et leur vitesse individuelle v'' .

» Comme v' et v'' sont fonction l'une de l'autre, on peut écrire

$$v'' = \alpha v',$$

α étant une fonction inconnue, et par conséquent

$$FT = (M + \Sigma \alpha m) v'.$$

» Cette forme représentative est particulièrement intéressante, car, si nos sens ne nous révélaient pas la présence de l'air, et si nous postulions la loi de Galilée, nous serions conduits à interpréter les expériences balistiques en disant : « La masse d'une balle ou d'un obus varie avec sa vitesse de translation, comme la masse des électrons dans les expériences de Kaufmann. »

» La différence d'échelle des deux phénomènes par rapport à nos sens ne nous permet pas d'apprécier s'il y a identité dans les deux cas; mais la certitude que le projectile déplace de l'air et l'impossibilité où nous sommes aujourd'hui de savoir si un électron entraîne de l'éther permettent de comprendre pourquoi l'artilleur corrige la formule de la force par un procédé que l'électricien ne peut pas employer.

» L'un et l'autre adoptent l'interprétation la plus commode.

» Cette commodité aboutit à des résultats contradictoires; et, pas plus l'un que l'autre, ces résultats ne nous permettent de nier ou d'affirmer l'exactitude des postulats; la connaissance que l'expérience nous donne de la réalité totale est trop insuffisante dans les deux cas pour autoriser une déduction rigoureuse.

INTERPRETATIONS PHYSIQUES DE DEUX LOIS DE KÉPLER. LEURS CONSÉQUENCES.

» Mais l'examen attentif des lois de Képler, c'est-à-dire l'interprétation de la grandiose simplicité des faits astronomiques, va nous fournir la réponse que l'expérience terrestre ne peut nous donner.

» Les astronomes écrivent les lois de Képler susceptibles d'être

mises en équation

$$L^3 = b T^2 \quad \text{et} \quad L^3 = b' T,$$

cette dernière étant dite *loi des aires*; et pour eux, b et b' sont des nombres ⁽¹⁾.

» J'ai fait remarquer ⁽²⁾ que b et b' ne peuvent être des nombres; la différence de relation que les lois de Képler exprimeraient entre l'espace et le temps suffit à la démonstration, puisque l'une des lois donne

$$T = L^{\frac{3}{2}}$$

et l'autre

$$T = L^2,$$

ce qui est contradictoire.

» Un argument plus net est obtenu en divisant les deux lois, membre à membre.

» On trouve

$$\frac{b}{b'} T = L,$$

ce qui voudrait dire, puisque b et b' sont des nombres, que le temps est équivalent à une longueur.

» L'irréductibilité indiscutée du temps à l'espace entraîne une contradiction manifeste entre T et L . Si l'on veut être logique, il faut donc voir dans les lois de Képler autre chose que des relations numériques entre les mesures des éléments des mouvements relatifs des planètes par rapport au Soleil.

» C'est pourquoi j'admets que la constante b , la même pour tout le système solaire, est la *masse* de Galilée et de Newton. Elle constitue une mesure universelle de la matière.

» Avec cette hypothèse, l'équation numérique de Képler devient la loi physique

$$L^3 = M T^2,$$

d'où l'on tire la définition de la *masse*

$$M = L^3 T^{-2}.$$

⁽¹⁾ b est le même pour toutes les planètes et l'on attache si peu d'importance à b' , que les Ouvrages d'Astronomie n'en contiennent pas la Table numérique.

⁽²⁾ P. JUPPONT, *Température et énergies*, 1899.

» J'admets, en outre, que la constante b' , variable avec chaque planète, est une mesure spécifique de la matière; j'ai donné à cette mesure le nom de *quantité*.

» Avec cette hypothèse, la loi numérique des aires devient la relation physique

$$L^2 = q T,$$

d'où l'on tire la définition de la *quantité*

$$q = L^2 T^{-1}.$$

» Si l'on divise membre à membre les définitions de la masse et de la quantité, on trouve le rapport

$$\frac{M}{q} = \frac{L}{T} = v,$$

d'où

$$M = qv.$$

» On vérifie que, pour chaque planète, le produit de sa constante de la loi des aires, par la vitesse moyenne de translation sur son orbite est une constante.

» Ce rapport v est analogue à celui qu'on trouve entre la quantité électrostatique Q et la quantité électrodynamique q .

» Ce n'est pas là une coïncidence fortuite, il est facile de le démontrer.

» Dans l'équation

$$Q = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1},$$

remplaçons $M^{\frac{1}{2}}$ par sa valeur tirée de ma définition de la masse; nous trouvons

$$Q = L^{\frac{3}{2}} T^{-1} L^{\frac{3}{2}} T^{-1} = L^3 T^{-2} = M^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} = M.$$

» Dans l'équation

$$q = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{1}{2}},$$

faisons la même transformation; nous trouvons

$$q = L^{\frac{3}{2}} T^{-1} L^{\frac{1}{2}} = L^2 T^{-1},$$

expression identique à la loi des aires.

» On ne peut donc appeler les résultats de la mesure électrosta-

tique et de la mesure électromagnétique du même nom de *quantité*, puisqu'ils sont hétérogènes, par leur nature, au même titre que les coefficients des lois de Képler.

» L'équation classique

$$Q = M^{\frac{1}{2}} L^{\frac{3}{2}} T^{-1}$$

ne fournit aucun renseignement sur la nature de l'électricité; c'est une tautologie au même titre que la définition classique de la masse $M = \frac{Ma}{a}$; mais elle est de la forme

$$M = M^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}}.$$

Cette différence provient de ce que, dans l'énoncé de Galilée, on a recours à l'observation d'un fait dynamique qui introduit l'accélération $a = LT^{-2}$ dans la définition, tandis que, dans la loi de Coulomb, les masses électriques étant supposées immobiles, aucune fonction de l'espace et du temps ne peut pénétrer dans la formule représentative. Si nous trouvons les facteurs $L^{\frac{3}{2}}$ et T^{-1} dans l'équation dite de *dimensions* de Q , c'est qu'on y a introduit le rôle de l'espace et du temps par l'identification

$$F = M^2 L^{-2} = MLT^{-2},$$

identification dont la condition est $M = L^3 T^{-2}$.

» C'est cette condition mathématique, nécessaire à l'identité des forces de Galilée et de Newton, qui m'a conduit à chercher la signification physique de l'égalité $M = L^3 T^{-2}$; je l'ai trouvée dans la loi de Képler : « Le cube des grands axes est proportionnel au carré » des temps des révolutions », si le coefficient de proportionnalité au lieu d'être considéré comme un nombre est identifié à la masse.

» Les raisonnements qui précèdent peuvent paraître plus métaphysiques que physiques; pour répondre à cette objection, je vais montrer que mes hypothèses élargissent les bases de la Mécanique, qu'elles lient directement la Statique à la Dynamique et fournissent de nombreuses relations intéressantes.

» En effet, de la définition $M = L^3 T^{-2}$ on tire

$$\frac{M}{L} = \frac{L^2}{T^2} = v^2.$$

» Le potentiel statique $\frac{W}{L}$ est, par définition, homogène au carré d'une vitesse; c'est pourquoi j'ai appelé v^2 *potentiel dynamique* ⁽¹⁾.

» Si l'on appelle *énergie* le produit W de la masse par son potentiel relatif aux masses avec lesquelles elle est liée physiquement, on trouve

$$W = \frac{M^2}{L} = M \frac{L^2}{T^2}.$$

» Cette liaison directe et expérimentale des phénomènes dynamiques à la position des masses observées, dans l'espace où elles agissent, remplace avantageusement le postulat de l'action et de la réaction. Mais il y a plus.

» Si l'énergie W est assujettie à se manifester sur une trajectoire connue, la différentielle $\frac{W}{L}$ de l'énergie par rapport au chemin parcouru nous donne

$$\frac{W}{L} = \frac{M^2}{L^2} = \frac{ML}{T^2}$$

qui sont les définitions statique et dynamique de la force, c'est-à-dire les lois de Newton et de Galilée; cette définition a l'avantage de correspondre à l'intuition directe que nous avons de la force, par la notion de l'effort musculaire et du travail physiologique qu'il exige.

» Le facteur $v^2 = L^2 T^{-2}$ est un potentiel; sa dérivée, par rapport à la direction sur laquelle la variation d'énergie s'opère, est

$$\frac{v^2}{L} = \frac{L^2 T^{-2}}{L} = L T^{-2}$$

on trouve ainsi l'explication du rôle capital de l'accélération, alors que la Mécanique classique se borne à le constater.

» Il est également facile de prouver que les lois de Galilée, de Képler et de Newton se contiennent l'une l'autre, et qu'elles sont des expressions différentes d'un même fait.

» Dans la loi de Galilée, $F = MLT^{-2}$, portons la valeur de T^2

(1) P. JUPPONT, *Essai d'énergétique*, 1901.

fournie par la loi classique de Képler; la force de Galilée devient

$$F = \frac{Mb}{L^2};$$

si l'on accepte mon hypothèse $b = M$, on retrouve la loi de Newton

$$F = M^2 L^{-2}.$$

» En résumé, les hypothèses par lesquelles j'interprète physiquement les lois de Képler lient la Statique à la Dynamique; elles basent la Mécanique sur l'énergie; elles aboutissent à cette constatation que la représentation des phénomènes électriques est identique à celle des phénomènes mécaniques; elles lèvent l'indétermination que la Mécanique classique dresse entre nos deux systèmes de mesures électriques, puisqu'on écrit en électricité, comme en gravitation,

$$Q = \nu q.$$

» L'expérience montre que, en électricité, ν est la vitesse de la lumière, d'où l'on déduit l'identité des milieux électrique et optique, par interprétation de l'équation générale $\nu = \sqrt{\frac{e}{d}}$ (d étant la densité et e l'élasticité du milieu qui propage un mouvement vibratoire).

» L'identification de la représentation des faits électriques et mécaniques est-elle justifiée?

» En ce qui concerne la masse statique des lois de Coulomb, rien ne s'oppose à l'assimilation du Soleil et d'une planète aux deux charges électriques ou magnétiques en présence dans la balance de Coulomb, puisque, dans les deux cas, les corps observés sont en mouvement relatif pendulaire, c'est-à-dire uniformément varié.

» La mesure dynamique dont le résultat est la grandeur spécifique q fournit les mêmes analogies. On peut, en effet, avec autant de vraisemblance que dans le cas précédent, comparer les ions dirigés circulairement par le circuit métallique autour du pôle agissant sur un feuillet magnétique, aux planètes en mouvement elliptique autour du Soleil.

» On comprend alors pourquoi on trouve en Électromagnétisme une expression dynamique *instantanée* de la mesure de l'électricité, différente de la mesure dite *statique* parce que cette dernière com-

porte le *retour à une position antérieurement occupée*; et l'on s'explique que la quantité électromagnétique soit homogène à la constante de la loi des aires, la genèse de ces grandeurs étant de même forme.

» Ces hypothèses ont, en outre, l'avantage d'introduire directement, dès le début de la Mécanique, la notion de milieu, dont la Mécanique classique ignore systématiquement l'existence.

» Il est en effet facile de déterminer la condition physique impliquée par les définitions de M , de q et les lois qui en découlent.

» J'ai montré (1) qu'elles exigent la *conservation absolue de la forme d'énergie* à laquelle on les applique. Le milieu dans lequel le phénomène est situé ne doit donc prélever aucune parcelle, même infinitésimale, de l'énergie qu'il transmet; il doit être rigoureusement *inaltérant* et isotrope.

» Aucune matière ne satisfait à cette condition; par suite, les définitions

$$F = MLT^{-2} = M^2 L^{-1} = L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

suppriment le rôle du milieu; elles sont la base d'une Mécanique qu'on pourrait appeler la *Mécanique du vide*, et les lois qu'elle énonce sont aux mouvements réels ce que la Géométrie est à la connaissance des corps.

» L'accord des principes de la Mécanique avec les faits dynamiques et électriques doit donc s'accomplir, non plus en modifiant les exposants de la loi de Newton comme on le fait pour certains mouvements de Mercure, dont l'explication exige l'addition de 16 unités du huitième ordre à l'exposant 2, ni en ajoutant des coefficients physiques aux expressions de la force.

» Depuis que Faraday et Maxwell ont si nettement démontré le rôle du milieu et fondé l'électro-optique; depuis que Bartoli, Bjerkness et Stroh ont prouvé expérimentalement que l'éther, les liquides, les gaz en mouvement vibratoire exercent des efforts mesurables sur les corps qui arrêtent ce mouvement, et vibrent par induction, c'est dans l'expression de la force en fonction des propriétés du milieu qu'il faut chercher les lois de la Mécanique des phénomènes réels.

(1) *Essai d'énergétique, loc. cit.*

» J'ai tenté, il y a plus de 15 ans, avec le concours de M. Berson, alors professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, la détermination expérimentale de la force d'attraction due à un mouvement vibratoire, en tenant compte de la nature du milieu (gaz ou vapeur), de son élasticité, de sa viscosité, de sa densité, de sa température, etc. ; les circonstances n'ont pas permis la continuation de ces expériences que j'estime être du plus haut intérêt; elles sont d'autant plus désirables qu'on peut être guidé, dans la recherche des lois d'absorption des milieux, par les relations que fournit l'homogénéité des équations physiques.

» Si l'on remarque que la viscosité μ a pour équation de définition

$$\mu = \frac{M}{LT}$$

et que la densité s'exprime par

$$d = \frac{M}{L^3},$$

on trouve

$$\frac{\mu}{d} = \frac{L^2}{T} = q,$$

ce qui explique le rôle important du rapport $\frac{\mu}{d}$ dans les phénomènes de diffusion, et permet la mesure de q .

» L'expression de la force $F = L^4 T^{-1}$ fournit l'homogénéité

$$F = \frac{L^2}{T} \frac{L^2}{T^3} = q\mu.$$

» Comme $q = \frac{\mu}{d}$, on a également

$$F = \frac{\mu^2}{d},$$

c'est-à-dire une expression de la force absorbée, en fonction de propriétés physiques directement mesurables. On peut de même estimer la force transmise en fonction de l'élasticité et de la densité.

LES SYSTÈMES A DEUX GRANDEURS.

» La Mécanique que je propose et que j'ai appelée *Mécanique naturelle*, parce qu'elle est fondée sur l'observation directe de la nature, conduit aux systèmes à deux grandeurs.

» La Mécanique classique, pour laquelle la masse est une entité absolue, indépendante de l'espace et du temps, accuse le système L, T de faire disparaître la masse, de supprimer la matière.

» La Mécanique naturelle ne tombe pas dans cette erreur d'interprétation.

» La définition $M = L^3 T^{-2}$ ne lui permet pas de confondre la disparition du symbole M , avec la suppression de la matière.

» Dans toutes les formules, elle trouve le rôle de la masse.

» Là où la Mécanique classique ne voit que des expressions purement cinématiques, comme par exemple dans l'expression de la force $F = \frac{L}{T} = e^4$, la Mécanique naturelle découvre plusieurs interprétations intéressantes, notamment

$$\begin{aligned} F &= e^4 e^2 = L^4 T^{-4} = e^4, \\ F &= e e = M L^{-1} M L^{-1} = M^2 L^{-2} = e^2, \\ F &= e e^2 = M L^{-1} L^2 T^{-2} = M L T^{-2} = M a, \end{aligned}$$

qui permettent de dire : la force est le produit de deux potentiels, et de traduire ainsi la relativité nécessaire à l'existence du mouvement tout en précisant le rôle des masses en présence et celui de la distance qui les sépare.

» La situation de la matière dans le temps, par rapport à un repère donné, fournit des interprétations aussi intéressantes que la situation de la matière dans l'espace, dont la Mécanique classique a fait le potentiel $M L^{-1}$ par rapport au corps qui sert de repère énergétique à la masse considérée.

» La viscosité $\frac{M}{L T}$ est la variation de potentiel dans l'unité de temps, comme l'accélération est la variation de potentiel sur l'unité de longueur; on comprend ainsi le rôle de la viscosité dans l'absorption de l'énergie propagée par un milieu.

» Si l'on appelle *intensité* la quantité qui passe en un point par unité de temps, cette grandeur

$$\frac{L^2}{T} \frac{1}{T} = \frac{L^2}{T^2}$$

est homogène au potentiel du système statique.

» Si l'on appelle *débit* la masse qui passe en un point par unité

de temps, cette grandeur $\frac{L^3 T^{-2}}{T} = v^3$ est homogène au multiplicateur qui, dans le système dynamique, donne l'énergie en fonction de la quantité

$$W = M v^2 = L^3 T^{-2} = L^2 T^{-1} L^3 T^{-3} = q v^3;$$

c'est donc à tort qu'on se sert de l'expression *potentiel électromagnétique*, puisque par définition le potentiel est un terme en v^2 .

» On trouve ainsi une analogie explicative de ce fait que le potentiel électromagnétique est homogène à l'intensité électrostatique et que l'intensité électromagnétique est homogène au potentiel électrostatique.

» Un dernier argument en faveur de l'hypothèse $M = L^3 T^{-2}$, c'est que, parmi les quatre systèmes MLT , ML , MT , LT qu'elle permet de construire, le système LT est le seul dans lequel les grandeurs physiques, cinématiques ou mécaniques sont toutes représentables par des fonctions dans lesquelles les grandeurs L et T sont exclusivement affectées d'exposants entiers.

» Cette propriété, d'une représentation simple, pour toutes les grandeurs, doit être opposée à l'impossibilité d'interpréter physiquement les facteurs $L^{\frac{1}{2}}$, $L^{\frac{3}{2}}$, $M^{\frac{1}{2}}$, ..., que donnent tous les autres systèmes (1).

SIGNIFICATION PHYSIQUE DE LA DÉFINITION $M = L^3 T^{-2}$.

» Le rôle de q dans les phénomènes de viscosité ayant été indiqué, comme dernière justification de mes hypothèses, je vais rechercher les conditions physiques nécessaires pour que la définition $M = L^3 T^{-2}$ soit identique à la définition classique $M = Vd$ (V , volume, et d , densité de la masse M).

» Le facteur L^3 étant équivalent à un volume, il suffit d'établir les conditions de l'identité

$$d = T^{-2}.$$

» La densité d est par définition $d = Ml^{-3}$, formule dans laquelle

(1) P. JUPPONT, *Température et énergies*, loc. cit.

l^3 représente les dimensions du corps de masse M et de densité d . Nous avons donc

$$d = \frac{M}{l^3} = \frac{L^3 T^{-2}}{l^3}.$$

» Si l'on peut écrire $L^3 = l^3$, l'identité $d = T^{-2}$ est satisfaite. La condition $L^3 = l^3$ exige simplement que le milieu de dimensions L^3 , dans lequel la masse extériorise ses propriétés, ait une fonction énergétique équivalente à celle du milieu intermoléculaire de dimensions l^3 , c'est-à-dire que les molécules obéissent aux lois de la Mécanique, comme les corps graves. C'est l'hypothèse de la théorie cinétique des gaz.

» On peut, physiquement, dire que la densité gravifique est proportionnelle au carré de la vitesse angulaire T^{-1} des ions négatifs autour du noyau central, puisque cette vitesse angulaire est fonction du volume occupé par la molécule.

LES GRANDEURS THERMIQUES.

» La question des grandeurs thermiques ayant été examinée dans l'importante discussion qui a eu lieu devant la Société, au sujet des unités électriques, je dois signaler la répercussion de la *Mécanique naturelle* sur la représentation des faits caloriques.

» La chaleur spécifique c devient un nombre, pour les mêmes raisons que la perméabilité magnétique et le pouvoir inducteur spécifique.

» L'équivalence du travail et de la chaleur contenue dans un corps pesant de masse M , à la température θ , fournit la liaison $Mv^2 = cM\theta$, d'où l'on déduit $\theta = v^2$. Cette conséquence, indiquée par Maxwell, et interprétée à l'aide de mes hypothèses, permet de dire que la température est le potentiel intermoléculaire des éléments pesants qui constituent les corps. Elle est également exprimée par $\frac{q}{T}$, variation de la *quantité* dans le temps; une variation de température est donc une estimation de la propriété spécifique q par rapport au temps, comme l'accélération $\frac{v}{T}$ est la variation temporelle de la vitesse. Cette dernière définition de la température permet de prévoir le rôle important qu'elle joue dans la diffusion.

» L'hypothèse que c est un nombre a d'autres conséquences importantes; elle implique le principe de Carnot, la dilatation thermique; elle donne une signification expérimentale à l'entropie qui est proportionnelle à la masse; il en est de même pour le coefficient R de la loi de compression des gaz dont l'expression $pv = RT$ est sans interprétation possible pour la Mécanique classique; elle permet de prévoir, par les liaisons de la masse au milieu intermoléculaire, qu'une variation de température modifiera la résistance électrique, le potentiel électrique, la transparence pour la lumière, etc.

» Au point de vue théorique, mon hypothèse, qui fait de la température une grandeur physique a , surtout pour résultat de lever l'indétermination qui existe entre la température volumétrique qui n'est qu'un repère et la température absolue déduite du cycle de Carnot, puisqu'elle fixe les conditions de leur identification; elle corrige l'erreur commise par la Physique élémentaire qui introduit la température thermométrique dans ses calculs, alors qu'une logique rigoureuse exige que les éléments des calculs soient des grandeurs; elle montre l'approximation que comporte le concept de *zéro absolu* basé sur les phénomènes de dilatation, puisque dans la valeur $\frac{1}{\alpha}$ on néglige le rôle du milieu intermoléculaire.

» Comme la masse gravifique et la quantité électrostatique sont homogènes, elles sont deux supports équivalents de l'énergie par rapport au potentiel.

» L'application du principe de Carnot à la dégradation de l'énergie peut donc logiquement se généraliser et l'énoncé d'Ostwald précisé comme suit : « Pour qu'il se passe quelque chose, il faut » qu'il y ait quelque part des différences de potentiel non com-
» pensées. » Ce qui se perd est donc le potentiel, qui a une tendance à diminuer; et puisque la gradation des formes d'énergie dépend de leur v^2 , le principe de Clausius, *l'entropie de l'univers augmente*, devient : *l'énergie actuelle de l'univers tend à passer de l'éther à la masse gravifique* ⁽¹⁾.

(1) Les phénomènes de radioactivité et de dissociation de la matière sont peut-être la compensation de la dégradation de l'énergie; et, en toute rigueur, il faut distinguer la conservation de la masse de la conservation de la matière, puisque la masse n'est qu'une propriété spécifique de la matière par rapport au milieu où elle évolue.

REMARQUES SUR LE LANGAGE DE L'ÉNERGÉTIQUE.

» Je terminerai ces considérations par quelques remarques sur les unités et le langage de l'énergétique.

» Si nos systèmes de mesure ont besoin d'être coordonnés, le langage scientifique comporte des remaniements nécessaires.

» Que de confusions on éviterait à chacun de nous, par l'emploi d'une terminologie qui supprimerait la multisingnification de termes dont l'origine remonte parfois à Aristote.

» Pourquoi, par exemple, appeler *force* électromotrice ce qui est un potentiel v^2 dans le système statique, et un terme en v^3 , non encore dénommé, dans le système dynamique ?

» Pourquoi la *force* magnétomotrice et l'*intensité* de courant, étant homogènes, sont-elles désignées par des substantifs différents, qui tous deux changent de signification lorsqu'ils sont appliqués à d'autres grandeurs ?

» Pourquoi appeler *intensité de pôle* ce qui est une *masse* magnétique ?

» Pourquoi dire : « Le potentiel électrique *est égal* au travail de » l'unité de quantité d'électricité ? » Numériquement c'est vrai, comme les lois de Képler pour les astronomes ; physiquement c'est faux, le travail étant le produit d'un potentiel par une masse, etc.

» Ces exemples, qui pourraient être malheureusement multipliés, suffisent à indiquer la nécessité de la constitution méthodique du langage de l'énergétique.

LA DÉCIMALISATION DU TEMPS.

» Les grandeurs de la *Mécanique naturelle* sont toutes représentables en fonction de l'espace et du temps ; on comprend qu'il soit possible de trouver une convention qui solidarise graphiquement et simplement les unités fondamentales ; la décimalisation du temps permet de réaliser cette idée.

» Si l'on prend pour figure de liaison un cercle de 400 m de circonférence, et qu'on décimalise le temps en fonction du quart de jour, ce quart de circonférence développe 10000 cm, contient

100 grades ou 10000 centigrades ; et l'on peut admettre que, transporté sur le cadran d'une horloge, il représentera 10000 unités de temps.

» Dans cette figure, longueur, angle, temps se correspondent ; en effet, si un rayon de ce cercle se déplace à la vitesse angulaire du mouvement de rotation de la Terre, son extrémité mobile parcourra 1 cm dans l'unité de temps ; le déplacement de ce rayon fixera donc l'unité de vitesse linéaire et l'unité de vitesse angulaire, en même temps qu'il identifiera les heures et les longitudes.

» Cette unité de temps vaut $\frac{86400}{40000} = 2,16$ s.

» La moitié de cette unité pourrait être appelée *sécande*, elle vaudrait 1,08 seconde sexagésimale ; l'unité nouvelle serait la *bisécande* : ce terme a l'avantage d'établir une liaison mnémonique simple avec le système sexagésimal actuel ⁽¹⁾.

» De plus, le carré et le cube de 2,16 sont respectivement 4,6656 et 10,076696 ; les unités énergétiques seraient donc sensiblement 2 fois, 5 fois ou 10 fois plus grandes ou plus petites que les unités actuelles, du fait des facteurs en $T^1 T^2 T^3$, $T^{-1} T^{-2} T^{-3}$.

» Ces rapports, faciles à retenir, montrent qu'une décimalisation du temps faite sur ces bases n'amènerait pas une perturbation considérable dans les habitudes industrielles ; la décimalisation du quart de jour est donc scientifiquement et pratiquement préférable à la décimalisation du jour, votée par la Convention.

CONCLUSION.

» Cette trop longue Note n'a pas la prétention d'indiquer un projet de revision des unités électriques, mais seulement de rappeler que tout n'est pas pour le mieux dans la meilleure des Mécaniques classiques et, par voie de conséquence, dans les meilleures des théories thermiques et électriques.

» En attendant les critiques que soulèvera la méthode de rectification des équations de dimension des grandeurs électriques que je

⁽¹⁾ P. JUPPONT, *La décimalisation du temps* (Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse, 1902).

viens d'esquisser, je me rallie à la proposition de M. Berthelot de ne rien changer à nos unités en l'état actuel ; mais je suis persuadé qu'il acceptera à son tour de dire avec moi : travaillons sans relâche à la réforme du langage et à celle des unités, afin de les effectuer le plus tôt possible.

» La Société internationale des Électriciens le peut mieux que toute autre, et je serai heureux, si j'ai pu apporter une pierre à cette œuvre dont la réalisation est si désirable. »

QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LES PROPOSITIONS DE M. JUPPONT.

M. E. BRYLINSKI. — « Si je désire ajouter quelques mots au Mémoire qui précède, ce n'est pas à titre de défenseur de la Mécanique classique, qui est trop solidement construite pour avoir besoin de défense, et que je serais d'ailleurs bien peu qualifié pour défendre, mais simplement parce que j'ai, depuis une dizaine d'années, échangé d'assez longues correspondances avec M. Juppont sur ce sujet qui le préoccupe depuis longtemps. Il peut, dès lors, n'être pas inutile de rappeler sommairement quelques réflexions, bien connues à la vérité, mais cependant intéressantes à grouper à la suite de l'essai de M. Juppont.

» Ce n'est pas que j'aie l'intention d'entreprendre une critique détaillée de son exposé, qui constitue une tentative longuement mûrie pour modifier l'orientation didactique de la Mécanique et ne saurait, par suite, être considérée qu'avec intérêt. Je me bornerai à situer la question dans un plan peut-être un peu différent et à signaler quelques conséquences, qui me paraissent difficilement admissibles, de la théorie proposée.

» Tout d'abord, M. Juppont considère l'exposition classique de la Mécanique comme manquant de clarté et semée de contradictions, et c'est pour ce motif qu'il a senti le besoin de renouveler cette exposition en faisant disparaître ces contradictions et en introduisant plus de clarté. J'avouerai franchement que je ne partage pas entièrement sa manière de voir.

» Le procédé qui consiste à baser toute la Mécanique, science générale, sur le phénomène si particulier de la course elliptique des planètes autour du Soleil me paraît manquer de généralité. La conception qui en résulte, et qui est en somme celle d'une masse et d'une quantité de matière distinctes pour chaque corps, me paraît une complication évidente et, somme toute, insuffisamment justifiée.

» Combien plus large et satisfaisante est, à mon sens, la base classique de la Mécanique, fondée sur les notions intuitives d'effort et de mouvement; et comme les développements en sont nets, quand

on considère la Mécanique comme une science physique, c'est-à-dire à bases expérimentales.

» Je sais bien qu'à un certain moment on a voulu, d'une manière assez générale, faire de la Mécanique une science de déduction pure, où les développements rigoureusement mathématiques de fondements considérés comme évidents devaient amener à la certitude absolue. Il y avait là un excès contre lequel devait forcément se produire une réaction; on peut même se demander s'il y a dans l'œuvre humaine une seule science donnant la certitude absolue.

» La Géométrie n'est-elle pas basée sur le postulat d'Euclide, simple résultat d'expérience avec toutes les limitations de certitude qui découlent du fait expérimental, dont on n'est guère tenté de chercher une démonstration après les considérations qu'a développées à son sujet M. H. Poincaré. L'Arithmétique, basée sur la notion du nombre entier, répétition de l'unité, n'éprouve-t-elle pas de sérieuses difficultés à en déduire rigoureusement celle de nombre incommensurable, dont cependant elle ne saurait se passer? L'analyse infinitésimale elle-même, cette pure merveille de l'esprit humain, n'emploie-t-elle pas comme outil puissant et fécond l'infiniment petit et l'infiniment grand, dont la définition est telle qu'il est impossible d'en concevoir une représentation matérielle?

» Il faut donc se résigner à voir des postulats intervenir dans toutes les sciences; il y en a plus ou moins, ce n'est qu'une question de mesure. Les sciences mathématiques en ont peu; les sciences physiques, où l'on aboutirait constamment à des situations inextricables si l'on ne simplifiait délibérément les questions en négligeant des éléments parfois nombreux, en comportent beaucoup plus. La Mécanique se tient entre ces deux groupes, en tant du moins qu'on se cantonne dans la Mécanique non moléculaire, car, lorsqu'on arrive à la Mécanique moléculaire, on est obligé, pour parvenir seulement à des formules empiriques, de faire de telles hypothèses qu'on n'ose se servir des résultats sans employer de forts coefficients de sécurité.

» Si l'on considère la Mécanique de ce point de vue, si, au lieu de vouloir tout démontrer, on y avoue franchement quelques postulats ou résultats plus ou moins directs d'expérience qu'on peut considérer comme amplement vérifiés par l'ensemble de leurs con-

séquences, on se trouve en présence d'un édifice majestueux et parfaitement ordonné, dont on n'éprouve, à mon sens, aucun désir de modifier l'architecture jusque dans ses fondements.

» C'est là évidemment une question d'appréciation personnelle sur laquelle il n'est pas possible d'insister, et l'on n'en doit pas moins envisager avec sympathie toutes les tentatives vers ce que d'autres croient, et ce qui peut être la vérité, ou tout au moins une possibilité plus commode.

» Jetons un coup d'œil sur les caractéristiques de cette tentative.

» Une des conséquences qui résulteraient de la conception de M. Juppont est l'élimination de la *masse* comme grandeur fondamentale, puisqu'elle se ramènerait à l'espace et au temps selon la formule de dimensions

$$M = L^3 T^{-2}.$$

» Cette équation de dimensions date d'un demi-siècle au moins ; je l'avais retrouvée de mon côté il y a quelque vingt ans, et je dois dire qu'elle m'avait paru extraordinairement séduisante. A l'encontre, en effet, de l'espace et du temps qui sont véritablement des notions intuitives et primordiales, la masse est une notion non immédiate et quelque peu complexe qu'on éprouve au début quelque peine à s'assimiler ; je ressentais une certaine satisfaction à la considérer comme déchuë du premier rang et s'exprimant directement en fonction de l'espace et du temps.

» Cette manière de voir me paraissait également satisfaisante au point de vue philosophique, car elle se rattachait directement à la conception de l'univers constitué par un fluide unique, élastique, homogène et continu, susceptible de former des noyaux de condensation ou des tourbillons dont les combinaisons diverses constitueraient ce que nous appelons communément *les différents aspects de la matière*. Le fluide étant unique, il ne saurait apparaître quoi que ce fût qui indiquât sa densité, et il ne pouvait y avoir que des combinaisons de volumes et de mouvements.

» Cette conception, un peu simpliste peut-être, a conservé pour moi une grande puissance de séduction, mais je ne m'en suis pas moins éloigné très sensiblement. Il me paraît difficile de laisser de côté la masse de ce corps, fût-il unique, et je ne vois pas bien comment on pourrait la ramener uniquement à l'espace et au temps.

Comme le faisait spirituellement remarquer il y a quelques mois M. D. Berthelot, le passant blessé par une tuile qu'il reçoit sur la tête se demande à bon droit s'il n'a subi que l'effet d'une combinaison d'espace et de temps. Il y a tout au moins matière à forte hésitation et les arguments que nous apporte à cet égard M. Juppont ne me paraissent pas suffisamment démonstratifs.

» Une des conséquences, en particulier, de cette formule me paraît difficilement admissible. Si la masse a pour dimensions $L^3 T^{-2}$, la densité, qui est le rapport de la masse d'un corps à son volume, aura pour dimensions T^{-2} . J'éprouve une réelle difficulté à concevoir qu'une densité puisse s'exprimer en fonction du temps seul. C'est encore là une de ces questions d'appréciation personnelle sur lesquelles on ne peut insister, faute de démonstration suffisante, mais qu'on se doit de mettre en évidence afin que chacun puisse se faire un sentiment.

» On peut évidemment discuter sur le degré auquel le système à deux grandeurs « supprime la matière ». Ce qui est évident, c'est que ce système permet d'exprimer la matière en fonction de l'espace et des temps *seuls* et qu'elle ne reste donc pas quelque chose de distinct. C'est cette conséquence qui est discutable. Il est bien clair que le fait qu'un volume a les dimensions du cube d'une longueur ne supprime pas les volumes ; il est bien évident qu'on pourra faire réapparaître des volumes dans les expressions où il y a des L^3 , de même qu'on peut faire réapparaître des masses dans les expressions du système à deux dimensions. Il n'y a là aucune supériorité particulière à ce système, mais par contre le germe d'erreurs graves possibles qu'il faut signaler. M. Juppont, en effet, conclut invariablement de l'identité des formules de dimensions de deux grandeurs à l'identité de ces grandeurs. Or, de même que deux angles égaux ne sont pas forcément droits, bien que tous les angles droits soient égaux entre eux, de même deux grandeurs très différentes peuvent avoir les mêmes dimensions ; je me bornerai à citer le moment d'un couple et le travail d'une force. Le procédé qui consiste à prendre des formules en L et T et à y remplacer sans contrôle certains groupes de valeurs de L et T par M n'est donc pas dépourvu de danger, et les conclusions qu'on en peut tirer sont assez incertaines.

» La possibilité d'édifier des systèmes M, T ou M, L me paraît

constituer un simple jeu mathématique entièrement dénué d'intérêt. L'espace et le temps sont deux grandeurs tellement intuitives et si franchement distinctes, qu'on ne voit guère la possibilité de ne pas les prendre comme grandeurs fondamentales. S'il faut une troisième grandeur fondamentale, on conçoit l'hésitation comme possible entre la masse, l'énergie et certaines autres grandeurs; je préférerais certainement, en ce qui me concerne, l'énergie à la masse. Mais, s'il n'y a que deux grandeurs fondamentales, je ne concevrais pas qu'elles pussent être autres que l'espace et le temps.

» Peut-être trouvera-t-on excessif de dire que la Mécanique classique ne contient pas l'énergie dans ses postulats, alors que la loi de la conservation de l'énergie est actuellement considérée comme la base fondamentale de la Mécanique comme de la Physique, et que c'est de cette loi [travail (FL) équivalent à force vive (ML^2T^{-2})] qu'on tire la validité de la formule de dimensions de la force

$$F = MLT^{-2}$$

tout autant que de la formule de Galilée, ou, pour mieux dire : la définition purement cinématique de la masse par la formule de Galilée est compatible sans aucune hypothèse avec la loi dynamique de la conservation de l'énergie, alors que la définition purement statique de la masse par la formule de Newton sans coefficient n'est compatible avec la loi de la conservation de l'énergie qu'à la condition de faire disparaître la masse comme grandeur fondamentale en lui donnant une expression bien définie en fonction de l'espace et du temps.

» D'autre part, M. Juppont identifie la quantité électrostatique d'électricité et la quantité de magnétisme à la masse pesante. Il y a là une conception d'une extrême hardiesse à laquelle il paraît difficile de s'associer. Pour mon compte je suis entièrement d'accord avec M. Pellat pour admettre la très grande probabilité de la réalité physique de la quantité d'électricité (ce qui ne veut pas dire que ce soit une masse matérielle) et pour considérer la quantité de magnétisme comme une simple conception mathématique, outil parfois commode, mais probablement dénué de toute existence physique.

» M. Juppont tire ensuite diverses conséquences des dimensions de certaines grandeurs électriques et magnétiques dans un système

qui est à la fois le système électromagnétique et le système électrostatique, puisqu'il supprime les coefficients K et μ des lois de Coulomb, et semble considérer ces dimensions comme celles de la Mécanique classique. Il me semble y avoir là une confusion, car je ne crois pas qu'il puisse être considéré comme classique de supprimer à la fois les coefficients K et μ . On ne peut le faire qu'à la condition de considérer comme distinctes la quantité statique et la quantité dynamique d'électricité. Cette conception, à laquelle est naturellement conduit M. Juppont, est bien loin d'être classique, car elle soulève depuis un certain nombre d'années de très vives controverses entre des savants éminents. La question a été exposée assez longuement au commencement de l'année pour qu'il ne soit pas utile d'y revenir; je rappellerai seulement que l'expérience semble être en faveur de l'identification de ces deux quantités d'électricité, qui est d'ailleurs implicitement admise par la presque unanimité des électriciens.

» Si enfin il est évident que, dans l'équation des gaz parfaits

$$pr = RT,$$

R et T ne peuvent être des nombres tous les deux, il me semble possible que R ou T soit un nombre, et je ne vois pas de raisons bien déterminantes dans l'exposé de M. Juppont pour qu'il en soit autrement, de même que je n'y trouve pas de raison bien déterminante pour que la *chaleur spécifique* soit un coefficient purement numérique.

» Je craindrais d'abuser de la patience du lecteur en poussant plus loin cet examen. Mais, si je ne puis me rallier à la conception de M. Juppont qui, avec sa séparation d'un certain nombre de grandeurs en grandeurs statiques et grandeurs dynamiques, tend à m'apparaître plutôt comme un recul que comme un progrès, je suis par contre en accord complet avec lui sur la nécessité urgente qu'il y a de reviser notre langage scientifique dont l'incohérence et la complexité en bien des matières sont une source de difficultés et même d'erreurs de tous les instants. M. Juppont en a suffisamment indiqué le besoin pour qu'il soit inutile d'insister. »

M. P. JUPPONT. — « Je remercie très vivement M. Brylinski des

observations faites à mon exposé, ainsi que de ses critiques antérieures, car la sagacité de chacune d'elles m'a conduit à chercher de nouveaux arguments.

» Le système que je propose ne saurait être entièrement satisfaisant; il a seulement le mérite d'introduire expérimentalement la notion de milieu dans les principes fondamentaux et de n'être en contradiction ni avec l'expérience de Kaufmann, ni avec les deux systèmes d'équations de dimensions des grandeurs électriques.

» Si je n'ai pas indiqué que je n'avais pas découvert la relation

$$M = L^3 T^{-2},$$

c'est parce qu'elle est connue depuis bien longtemps; Maxwell ⁽¹⁾, où je l'ai trouvée, indique que la théorie des dimensions est due à Fourier.

» Mais, ce que je crois avoir signalé le premier, c'est que cette équation de dimensions pouvait être fournie directement par l'observation, en donnant une signification physique aux lois de Képler qui ne peuvent être de simples relations numériques, comme on l'admet couramment.

» Je ne pense pas que l'identité des équations de dimensions implique l'identité des grandeurs correspondantes; je crois seulement que l'homogénéité mathématique peut servir de guide à des recherches spéculatives, dont l'expérience fixera la portée. L'exemple cité par M. Brylinski (moment d'un couple et énergie) résulte d'une indétermination de la direction des vecteurs qui forment le terme L^2 , dans l'expression $ML^2 T^{-2}$ du couple et de l'énergie; cette indétermination est levée si l'on adopte le système indiqué, il y a quelques années, dans l'*Industrie électrique* et qui tient compte, dans ses formules, de la direction de chacune des trois composantes de l'espace.

» Mais il est d'autres exemples plus caractéristiques; je me permets d'en signaler un : la *masse linéaire*, ou masse de l'unité de longueur d'un fil ou d'une barre métallique, a pour dimensions ML^{-1} , de même que le *potentiel statique*; mais, dans le premier cas, la lon-

(1) MAXWELL, *Traité d'Électricité et de Magnétisme*; traduction Seligmann-Lui. Paris, 1885, p. 5.

gueur qui intervient *dimensionne la masse* à laquelle elle appartient, tandis que dans le second *elle dimensionne le milieu* dans lequel le phénomène existe.

» Cette distinction doit être faite dans une représentation satisfaisante, ce que ne font pas nos équations de dimension.

» Les systèmes *MT*, *ML* sont de simples jeux mathématiques; leur étude a cependant une conséquence intéressante, c'est de montrer que, parmi les systèmes mathématiquement possibles, la simplicité de représentation du système *LT* est plus grande que celle de tous les autres et, par suite, qu'il a la plus grande valeur économique de pénétration dans la réalité; valeur dont Mach a si bien fait ressortir l'importance dans le rôle joué par la Science.

» Je n'identifie pas la *masse* et la *quantité électrostatique*; j'ai eu soin d'indiquer, dans un renvoi il est vrai, qu'au cours de ma Note le signe $=$ avait la signification *équivalent à* et non celui de l'identité mathématique. Il ne peut y avoir de doute à ce sujet, car, il y a plus de 3 ans, je terminais une *Note sur un système de mesure des grandeurs énergétiques*, en disant au sujet des phénomènes de radioactivité et d'ionisation ⁽¹⁾ : « Ces remarquables découvertes » ont permis à certains auteurs d'affirmer que les fluides électriques sont la matière elle-même, et d'aller ainsi au delà de » mon hypothèse, la quantité électrostatique *m* *équivalent à* la masse » gravifique *M*, puisqu'ils admettent *m* égal à *M*. »

» M. Brylinski éprouve une réelle difficulté à concevoir que T^{-2} puisse représenter une densité: c'est très exact, si l'on pense traiter la Mécanique à l'aide des postulats classiques; mais on n'éprouve plus de difficultés si, en lisant l'équation $d = T^{-2}$, on se rappelle que cette formule n'est vraie que dans le vide, pour des mouvements donnés de la matière, mouvements dont les lois sont les mêmes pour les parties constituantes du corps et pour ce corps dans l'espace pur.

» Enfin, au point de vue de la signification de l'équation des gaz parfaits, $p\nu = RT$, M. Brylinski dit : « Si *R* et *T* ne peuvent être des » nombres tous les deux, il me semble possible que *R* ou *T* soit un » nombre. »

(1) *L'Éclairage électrique*, t. XLVI, 1906, p. 50.

» Examinons les conséquences de ces deux hypothèses :

» Si R est un nombre, la température T est de l'énergie ; si R est de l'énergie, T est un nombre ; à mon avis, ces deux résultats sont inadmissibles ; il faut donc trouver une autre interprétation de la formule représentative $p\nu = RT$, et mes hypothèses en fournissent une qui est cohérente avec les principes mécaniques que je propose, alors que la Mécanique classique ne fournit pas d'explication satisfaisante.

» M. Brylinski estime que c'est une complication évidente et non justifiée de considérer à la fois, pour chaque corps, la *masse* et la *quantité*, au sens spécial que j'ai donné à ce terme.

» Cependant, l'expression $M = L^2 T^{-1} \cdot LT^{-1} = L^3 T^{-2}$ définit, à l'aide de deux grandeurs dynamiques $L^2 T^{-1} = q$ et $LT^{-1} = v$, une propriété de la matière qu'on retrouve en tous les points de notre système solaire, et probablement de l'univers ; elle donne une commune mesure de la *quotité* ⁽¹⁾ de matière, c'est-à-dire la définition la plus générale qu'il soit actuellement possible de donner au support des phénomènes énergétiques ⁽²⁾ ; tandis que l'expression spécifique $q = L^2 T^{-1}$ constate les différences qui séparent les diverses sortes de matières les unes des autres. La manière d'être de Mars n'est pas celle de la Terre ou de Mercure, et c'est la loi des aires qui mesure ces diverses manières d'être ; cette loi peut donc servir à préciser numériquement les différences qui existent entre les manifestations propres à chaque corps.

» Par cette deuxième définition $q = L^2 T^{-1}$, définition non plus universelle, mais spécifique, les principes de la Mécanique permettent de distinguer quantitativement les diverses *qualités* de matière.

» Cette pénétration des principes de la Mécanique dans les qualités, loin d'être une complication, me paraît au contraire une néces-

(1) Le terme à employer serait *quantité*, au sens philosophique et mathématique de ce mot, mais l'usage que j'ai fait du mot *quantité* pour représenter une grandeur physique, m'impose, pour éviter toute confusion, l'emploi d'un mot tel que *quotité* ; c'est là un exemple de plus pour justifier la réforme du langage scientifique.

(2) Cette définition $M = L^3 T^{-2}$, on l'a vu, convient au support *pesable*, à la partie gravifique des corps, comme à leur partie *impesable*, l'éther, siège des faits électro-optiques.

sité si l'on veut qu'ils servent de base à toutes les branches de l'Énergétique et notamment à la Chimie; pour cette raison, à mon sens, ces définitions simultanées ne sauraient davantage être un recul; mais je n'ai pas la prétention d'affirmer qu'il n'en est pas ainsi; les points de vue auxquels on peut se placer pour examiner des hypothèses étant nécessairement très nombreux.

» Je ne suivrai pas M. Brylinski dans l'examen philosophique des bases et des limites de la Science, dont la cosmogénie est l'un des chapitres; je crois cependant utile de faire remarquer que le fait de prendre l'interprétation physique des lois de Képler comme base de la Mécanique, aujourd'hui où il est très vraisemblable que la molécule est elle-même un minuscule système planétaire, c'est donner les mêmes lois à tous les mouvements de la matière inanimée, par suite faire une synthèse énergétique, d'accord avec l'expérience, tout en montrant l'importance des conditions cinématiques dont dépend la grandeur de la masse, ce qui justifie les théories mécanistes.

» Je comprends très bien que mes idées, lorsqu'on en prend connaissance, heurtent la manière de voir de ceux qui croient à l'évidence absolue des principes de la Mécanique; j'ai réfléchi pendant près de 20 ans avant de consentir leur abandon, tant l'empreinte de l'enseignement reçu et les résultats immenses fournis par la mécanique de Galilée, dans toutes les branches de la Science, me pénétraient de l'intangibilité des postulats classiques.

» Mais, aujourd'hui que l'expérience les contredit de façon incontestable, on ne doit pas hésiter à les condamner, et, comme il est nécessaire de remplacer ce que la critique a désagrégé, j'ai essayé d'édifier un système mécanique d'accord avec les faits en attendant une solution plus complète; mon travail n'a pas d'autre prétention que d'indiquer la possibilité d'une solution.

» Quant à la réforme du langage et des symboles, personne n'en peut contester l'utilité; du reste, l'opinion si nette de M. Brylinski rallierait les hésitants s'il pouvait y en avoir; j'ajouterai seulement que cette réforme doit s'étendre aux Mathématiques; j'ai indiqué ailleurs les raisons pour lesquelles on devrait distinguer l'égalité

numérique ou arithmétique de l'égalité algébrique et de l'égalité géométrique, et montré que, si en Géométrie, on distinguait l'égalité de l'équivalence, on éviterait bien des incompréhensions (').

» Mais ce n'est pas le moment de traiter cette question, sur laquelle je reviendrai bientôt, si, comme j'en ai la conviction, la Société internationale des Électriciens prend rapidement les décisions nécessaires à la réalisation de cette réforme du langage, réforme qui est si intimement liée à la diffusion des notions scientifiques exactes. »

(¹) La grandeur algébrique diffère de la grandeur arithmétique, parce qu'elle tient compte du sens dans lequel on a numéré les unités qui la constituent; que par suite les opérations algébriques se font non plus seulement sur des nombres, mais qu'elles doivent tenir compte du sens de numération, c'est-à-dire du signe de la grandeur sur laquelle on opère; l'identification des signes + (plus ou positif) et — (moins ou négatif) avec les signes de l'addition + et — de la soustraction, explique la fameuse règle de la multiplication des quantités négatives : *moins par moins donne plus*. La grandeur géométrique est formée de trois éléments : le nombre, le sens de sa numération et le vecteur sur lequel on situe la valeur algébrique dans l'espace; l'opération géométrique est donc bien différente de l'opération algébrique et de l'opération arithmétique (voir *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 1904); ces précisions montrent notamment que le signe $\sqrt{-1}$ des grandeurs imaginaires n'a de signification qu'en Géométrie; il indique une rotation de 90°.

ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

PROMOTION XV. — 1908-1909.

Liste des Élèves ayant obtenu le diplôme d'Ingénieur électricien.

MM. le capitaine DORIDO, SÉDILLOT, le lieutenant GÉRARD-HIRNE, }			Officiers délégués par le Ministère de la Guerre.		
MM. GILLES, LE NORMAND, JOURDAN, CHARRUAU,			MM. DORDELU, REYNAUD-BONIN, CORNET, }		
			Élèves-Ingénieurs délégués par le Ministère des Postes et des Télégraphes.		
MM.	MM.	MM.			
1. BOMMELAER.	34. BAUDOUIN.	67. LAUPRÈTRE.			
2. GAUDOUIN.	35. MARTINROCHE.	68. CHEILLETZ.			
3. PONCET.	36. GENTET.	69. DE LASSUS.			
4. MARC.	37. SPITZER.	70. DE VALLÉE.			
5. STIFFEL.	38. AVOCAT.	71. CLERMONT.			
6. LEBLOND.	39. RODET.	72. ANDRÉ.			
7. TISSIER.	40. MERLET.	73. GUÉRIN.			
8. LEGAY.	41. COMBEMALE (H.).	74. RIEUX.			
9. GUELPA.	42. CHALON.	75. LE BOEUF.			
10. RENARD.	43. COCHIN.	76. DOUSSOT.			
11. PIROELLE.	44. BELLON.	77. KRAUSHAR.			
12. DÉCORAT.	45. LOQUIN.	78. DEPOIX.			
13. BLAIN.	46. PASSINI.	79. SARAZIN.			
14. ARGYROPOULOS.	47. MICLESKO.	80. BOUSSION.			
15. LAUT.	48. CAIRE.	81. FLIX.			
16. MOREAU.	49. CAMPANAKIS.	82. TAVERNIER.			
17. POLACK.	50. CAYOL.	83. RÉTHALLER.			
18. FOUCHER.	51. DE BEAUFORT.	84. JARLAUD.			
19. MICHARD.	52. LESON.	85. LECOMTE.			
20. LANDON.	53. QUIROGA.	86. FAUCOMPRÉ.			
21. FABRE.	54. AMIAUD.	87. SAUDAU.			
22. DE CONINCK.	55. FLORENCE.	88. FRANÇOIS.			
23. MORNET.	56. MONTARON.	89. DUJARDIN.			
24. RIOS COGOLLOS.	57. EH RMANN.	90. CHARDIN.			
25. DIGEON.	58. LECOCQ.	91. DE MARIGNAN.			
26. CONSTANS.	59. POTENTIER.	92. MANGUE.			
27. PAQUIER.	60. GUIBERT.	93. LAMBREY.			
28. BUDEAUX.	61. ODIN.	94. KOZMINE.			
29. NIQUEUX.	62. CHEURLOT.	95. HARDOUIN-DUPARC.			
30. FATALOT.	63. COMBEMALE (M.).	96. AUDOUX.			
31. VIGNON.	64. RACINE.	97. PANNELIER.			
32. CHALMEL.	65. OBOUKHOFF.	98. BENARD.			
33. VILLENEUVE.	66. CROUZAT.	99. SAUZE.			

Anciens élèves : MM. GUITARD, DE LAPASSE.

Vétérans : MM. GOUDET, BUCQUET, CUNEO D'ORNANO, DE BEAUVALLON, VERMAIN.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de Membres titulaires, p. 566. — Les lignes téléphoniques homogènes (M. **Devaux-Charbonnel**), p. 567. — Températures admissibles dans les dynamos; procédés de déterminations, d'après les travaux de la première Section (M. **Brunswick**), p. 585. — Discussion de la Communication de M. Brunswick (M. **Boucherot**), p. 636.

BIBLIOGRAPHIE, p. 647.

OUVRAGES OFFERTS, p. 651.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 3 novembre 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8^h35^m du soir et le procès-verbal de la dernière réunion mensuelle adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 651) et des demandes d'admission suivantes :

(¹) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Cacheux (Achille-Félix), Sapeur radiotélégraphiste à la Tour Eiffel, 23, rue Solidarité, à Montreuil-sous-Bois (Seine). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Courtot (Alfred-Pierre), Adjoint à la Direction de la *Compagnie générale électrique*, 12, rue Michelet, à Nancy (Meurthe-et-Moselle). — Présenté par MM. Brunswick et Davenne.

Deverly (Jacques-Félix-Robert), Ingénieur électricien diplômé de l'*École pratique d'Électricité industrielle*, à Oestres, par Saint-Quentin (Aisne). — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

Michard (Adrien-Gilbert), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, attaché à la *Compagnie électromécanique*, 133, boulevard Magenta, à Paris. — Présenté par MM. A. Durand et Bourguignon.

Soumet (Armand-Pierre), Élève à l'*École d'Électricité industrielle*, 20, rue Neuve, à Rodez (Aveyron). — Présenté par MM. Boutin et Guilbert.

Tellier (Henri), Ingénieur à la Maison Breguet, 92, rue de Turenne, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Davesne.

Ces candidats sont élus membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de MM. *Diemand*, *Gossard*, *Herbault*, *Parent*, *Parvillée* (Achille) et *Santerre* et en exprime les regrets de la Société.

Des remerciements sont adressés aux auteurs des dons suivants :

M. DESROZIERS.....	1 dynamo Desroziers, 150 ampères, 110 volts, 600 tours
MAISON BREGUET.....	Remise à neuf d'une dynamo Desroziers
M. VIOLET.....	58,50 fr

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

LES LIGNES TÉLÉPHONIQUES HOMOGÈNES.

M. DEVAUX-CHARBONNEL. — « La téléphonie fait évidemment partie du domaine des courants alternatifs, mais elle ne paraît pas, de prime abord, s'y rattacher par des liens très simples. L'analyse de la parole, confirmée et même complétée par celle des courants téléphoniques, montre que les phénomènes alternatifs, soit acoustiques, soit électriques, qui sont engendrés par la voix humaine sont des plus compliqués. On y trouve, en effet, non seulement des périodes fondamentales accompagnées d'harmoniques de toutes valeurs, mais encore des vibrations qui n'ont pas de caractère périodique. Ainsi nous rappellerons sommairement que, par l'analyse à l'oscillographe, nous avons reconnu qu'une voyelle se compose de périodes régulières correspondant au son fondamental de la voix, où les harmoniques supérieurs jouent le rôle le plus important, celui de la vocable d'Helmholtz, spéciale à chaque voyelle; une syllabe présente un résultat analogue, mais les parties initiales et finales du tracé sont déformées d'une manière assez confuse par les consonnes.

» Dans de telles conditions, la téléphonie risquerait de ne pouvoir jamais s'affranchir de l'empirisme et de voir indéfiniment progresser la technique sans aucun profit pour elle, s'il n'était pas possible de dégager un phénomène principal des complications de détail qui l'environnent, et de le réduire à une forme assez simple pour le soumettre commodément à la double épreuve du calcul et de l'expérience. C'est le but que se sont efforcés d'atteindre tous les techniciens qui se sont occupés de téléphonie, et c'est conformément aux mêmes principes que nous avons entrepris les recherches dont nous donnons ici les premiers résultats.

» Nous avons essayé de réduire les problèmes de transmission à celui de la transmission d'un simple courant sinusoïdal, de fréquence convenablement choisie. Nous avons adopté la fréquence 1000. Nous nous proposons, dans ce qui suit, d'établir les formules relatives aux lignes homogènes et d'indiquer les moyens expéri-

mentaux à employer pour en vérifier les conséquences théoriques. Nous aborderons plus tard le cas un peu plus compliqué des lignes hétérogènes.

1. LIGNES TÉLÉPHONIQUES EN GÉNÉRAL.

» *Rappel des formules usuelles.* — Nous n'avons pas l'intention de reprendre l'exposé des calculs qui conduisent à établir la formule du courant à l'arrivée. Nous nous bornerons à en rappeler les grandes lignes.

» Un circuit téléphonique est caractérisé, en dehors de sa longueur, par deux constantes spéciales qui sont des fonctions de la résistance ρ , de la self-induction λ , de la capacité γ et de la perte σ par unité de longueur ainsi que de la fréquence. Ces deux constantes sont l'affaiblissement α et l'impédance Z . Il est très commode dans toutes ces questions d'employer la notation symbolique imaginaire (¹). Voici la valeur des deux constantes en question :

$$\alpha^2 = (\rho + i\omega\lambda)(\sigma + i\omega\gamma), \quad Z = \frac{\rho + i\omega\lambda}{\sigma + i\omega\gamma}.$$

» Il n'est pas possible de considérer la ligne isolément : il faut toujours tenir compte de l'appareil qui joue un rôle fort important. Si l'on admet, pour plus de généralité, que les appareils terminaux n'ont pas la même impédance et si l'on désigne par Z_1 et Z_2 leur impédance propre et par V la force électromotrice produite par l'appareil transmetteur, le courant qui traversera l'appareil récepteur sera donné par la formule

$$I = \frac{V}{\frac{1}{2} e^{\alpha l}} \frac{Z}{(Z + Z_1)(Z + Z_2)} \frac{1}{1 - e^{-2\alpha l} \frac{(Z - Z_1)(Z - Z_2)}{(Z + Z_1)(Z + Z_2)}}.$$

» Dans cette expression, V est de la forme

$$V = V_0 e^{\omega t i} = V_0 (\cos \omega t + i \sin \omega t).$$

(¹) Nous emploierons constamment dans la suite le terme *impédance* pour désigner une forme complexe $R + i\omega L$ ou $R - \frac{i}{\omega C}$. Il faudrait dire *résistance* ou *impédance imaginaire*. Le lecteur rétablira sans peine le mot *imaginaire* que nous avons supprimé par raison de commodité.

» Il suffira, après avoir effectué tous les calculs, de prendre le coefficient du terme imaginaire i pour avoir la valeur réelle du courant à chaque instant. Mais ces calculs sont, pour le cas qui nous occupe, sans intérêt, car le courant que nous cherchons est évidemment de forme sinusoïdale et de pulsation ω , et, sans nous attacher au décalage qu'il peut présenter par rapport à la force électromotrice à l'origine, il nous suffira de connaître son amplitude maximum. Cette amplitude se calculera aisément, car il suffira de considérer les modules des différentes quantités imaginaires qui entrent dans la formule.

» Remarquons tout d'abord que, pour une même tension V , le courant I dépend de trois termes. Le premier $\frac{1}{2} e^{at}$ croît avec la longueur et montre que le courant s'affaiblit suivant une loi exponentielle à mesure que la ligne devient plus longue.

» Le deuxième terme

$$\frac{Z}{(Z + Z_1)(Z + Z_2)}$$

est une fonction des impédances de la ligne et des appareils; il est indépendant de la longueur de la ligne.

» Enfin le troisième terme oscille autour d'une valeur égale à l'unité; théoriquement il n'atteint cette valeur que pour les lignes infiniment longues, mais, en pratique, on peut le considérer comme arrivé à sa valeur limite dès que la longueur de la ligne excède le tiers de la distance au delà de laquelle la téléphonie n'est plus possible. Ce sera le cas de la plupart des lignes interurbaines.

» Nous aurons donc, d'après ces remarques, à diviser les lignes en deux catégories : les lignes à grande distance et les lignes courtes ou urbaines. Les premières présenteront des phénomènes beaucoup plus simples et c'est pourquoi nous commencerons par elles notre étude.

2. LIGNES A GRANDE DISTANCE.

» *Affaiblissement.* — Nous venons de voir que, pour les lignes à grande distance, le courant décroissait suivant une loi exponentielle à mesure que la longueur augmentait. Le coefficient d'affaiblissement a dont nous avons donné la valeur est une imaginaire :

$$a = \alpha + \beta i;$$

comme nous n'avons, pour le moment, qu'à nous occuper des modules, le terme β n'intervient pas, car la quantité

$$e^{\alpha l} = e^{(\alpha + \beta i)l} = e^{\alpha l} (\cos \beta l + i \sin \beta l)$$

a pour module $e^{\alpha l}$ quel que soit β . Mais, comme plus tard nous rencontrerons le terme β , disons de suite que la théorie générale de la propagation montre que ce terme est lié à la vitesse v de propagation des ondes par la formule

$$\beta = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\Lambda},$$

en désignant par Λ la longueur d'onde. En d'autres termes β est un angle de phase; il représente, dans le cas d'une ligne indéfinie, le décalage par unité de longueur que subissent soit le courant, soit la force électromotrice, par suite de la propagation. Sa valeur dépend de la fréquence; elle est de quelques degrés pour les lignes usuelles, comme nous l'indiquons plus loin.

» Nous n'avons donc qu'à nous préoccuper pour le moment de la valeur du terme α . Ce terme est la partie réelle de l'expression

$$\alpha^2 = (\alpha + \beta i)^2 = (\rho + i\omega\lambda)(\sigma + i\omega\gamma).$$

» En général, l'isolement est assez grand pour que la perte σ puisse être négligée.

» On a alors

$$(1) \quad \alpha = \sqrt{\frac{\omega\gamma}{2} (\sqrt{\rho^2 + \omega^2\lambda^2} - \omega\lambda)}.$$

» Cette formule se simplifie dans la plupart des cas. Car pour les lignes souterraines on peut négliger la self-induction et pour les lignes aériennes profiter de ce que la quantité $\omega\lambda$ est grande devant ρ . On a alors simplement

$$(2) \quad \alpha_1 = \sqrt{\frac{\omega\gamma\rho}{2}} \quad \text{souterrain,}$$

$$(3) \quad \alpha_2 = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} \quad \text{aérien.}$$

» Mais, avant d'aller plus loin, faisons remarquer qu'il y a des cas où il faut tenir compte de l'isolement. La discussion complète de la

valeur de α montre qu'il faut, à cet effet, considérer la quantité

$$\varepsilon = \frac{\sigma\lambda}{\gamma\rho}.$$

» Si cette valeur est très petite, la formule (1) est bonne. C'est le cas des lignes ordinaires, et pourtant, pour les lignes aériennes de fort diamètre, où la capacité et la résistance ont de faibles valeurs, il faut déjà corriger la valeur de α_2 , qui doit être complétée ainsi :

$$\alpha_2 = \frac{\rho}{2} \sqrt{\frac{\gamma}{\lambda}} (1 + \varepsilon).$$

» Mais cette correction est indispensable dans le cas des lignes à forte self-induction, telles que les lignes munies de bobines Pupin, et nous verrons plus loin combien cette nécessité restreint les avantages qu'on trouverait sans cela dans ce procédé si ingénieux d'augmenter la portée des lignes téléphoniques.

» Les valeurs (2) et (3) de α nous permettent d'apprécier immédiatement les qualités particulières de chaque espèce de ligne. Les lignes souterraines affaibliront les sons d'autant plus que la fréquence sera plus élevée. Les harmoniques aigus disparaîtront et, en fait, les longues lignes souterraines assourdisent la voix. Les lignes aériennes, au contraire, affaibliront dans la même proportion les différents harmoniques : la voix conservera son timbre. D'ailleurs, il est facile de voir qu'elles sont beaucoup plus aptes à la téléphonie que les lignes souterraines. Il suffira de jeter un coup d'œil sur le Tableau suivant, qui donne, pour la fréquence 1000, les valeurs de α par kilomètre. Nous avons fait figurer en regard les valeurs de β dont nous aurons à parler plus tard, ainsi que celles de l'impédance Z :

		α .	β .	Z .
Circuits aériens.....	5,0 mm	0,0018	1°,2	600-30 <i>i</i>
	2,5 —	0,0064	1°,3	620-140 <i>i</i>
	1,1 —	0,0250	2°,2	800-560 <i>i</i>
Circuits souterrains ..	2,5 —	0,0230	1°,8	150-100 <i>i</i>
	1,0 —	0,0720	4°,5	310-290 <i>i</i>

» *Impédance résultante.* — Le deuxième facteur dont nous avons maintenant à nous occuper est une fonction des impédances de la ligne et des appareils. Pour plus de simplicité, nous supposons

que les deux appareils placés à chaque extrémité ont même impédance Z_r . Nous aurons alors à considérer le terme

$$\frac{(Z + Z_r)^2}{Z} = M,$$

qui représente une impédance et qu'on peut appeler, étant donné sa forme et le rôle qu'il joue, l'*impédance résultante de la ligne et des appareils* ou, par abréviation, l'*impédance résultante*. Pour connaître sa valeur, il faudra la calculer dans chaque cas particulier. Nous choisirons comme appareil type celui qui est adopté par l'Administration française sur ses réseaux et pour lequel on peut admettre, d'une façon très suffisamment exacte pour la pratique,

$$Z_r = 1000 + 500i.$$

» Les valeurs de M sont données par le Tableau suivant :

		M .
Circuits aériens	{ 5,0 mm	4600
	{ 2,5 —	4200
	{ 1,1 —	3300
Circuits souterrains	{ 2,5 —	8200
	{ 1,0 —	4200

» On voit qu'elles sont assez différentes les unes des autres.

» D'une façon générale, il y aura intérêt à rendre M minimum. Il est aisé de voir que cette condition sera remplie quand on aura

$$Z_r = Z.$$

» Dans le cas présent, Z_r est assez voisin de Z . Mais, si l'on envisageait le cas d'un appareil dont l'impédance soit très différente, les valeurs de M pourraient varier du simple au double pour les différentes espèces de lignes. On voit déjà que, pour la ligne souterraine de 2,5 mm dont l'impédance est beaucoup plus faible que celle des autres lignes, l'impédance résultante a une valeur beaucoup plus grande.

» *Portée des lignes téléphoniques.* — Le courant à l'arrivée dépend donc à la fois du facteur d'affaiblissement et de l'impédance résultante. D'après les chiffres que nous avons donnés, on voit sans peine que le facteur d'affaiblissement est le terme qui a la plus

grande importance, car il varie dans de larges limites avec les différentes espèces de lignes; mais ce serait commettre une erreur grossière que de croire, comme on a trop souvent l'habitude de le dire, qu'il est le seul à envisager dans le problème de la transmission. S'il en était ainsi, deux lignes ayant des affaiblissements α et α' seraient équivalentes lorsque leurs longueurs satisferaient à la relation

$$\alpha l = \alpha' l'.$$

» Nous allons montrer que cette façon de voir est incorrecte.

» L'expérience indique qu'on peut avoir des communications téléphoniques d'une valeur commerciale avec une ligne de fils de cuivre de 5 mm de 1800 km de longueur.

» On a à ce moment

$$\alpha l = 3,24,$$

et voici les longueurs équivalentes de différentes lignes qui donneraient le même facteur d'affaiblissement :

Circuits aériens.....	{	5,0 mm	1800 km
		2,5 —	506 —
		1,1 —	130 —
Circuits souterrains	{	2,5 —	140 —
		1,0 —	45 —

» Tenons maintenant compte de l'impédance résultante. Les facteurs d'affaiblissement $e^{\alpha l}$ ne seront plus égaux et l'on aura le Tableau suivant :

		$e^{\alpha l}$	αl	l
Circuits aériens	{	5,0 mm	27,5	3,24
		2,5 —	30,2	3,33
		1,1 —	38,5	3,61
Circuits souterrains.	{	2,5 —	15,4	2,72
		1,0 —	30,2	3,33

» Les longueurs sont sensiblement différentes de celles du Tableau précédent, surtout pour le câble de 2,5 mm; il ne paraît donc pas possible de négliger l'influence de l'impédance résultante. Ce n'est qu'à titre de première approximation qu'on pourra ne considérer que l'affaiblissement.

» Quoi qu'il en soit, les lignes téléphoniques les meilleures seront celles qui auront le plus petit affaiblissement. On voit immé-

diatement que les lignes aériennes seront de beaucoup supérieures aux lignes souterraines, et, si l'on se reporte à la formule qui donne leur coefficient d'affaiblissement, on voit qu'il y aura avantage à prendre des fils dont la résistance soit faible, car α est proportionnel à la résistance. Mais il semble aussi qu'on pourrait atteindre le même but en augmentant la self-induction. C'est le procédé Pupin qui consiste à insérer des bobines de self sur la ligne. Ce procédé ne conduit pas, malheureusement, à augmenter la portée des lignes aériennes en fils de gros diamètre. En effet, supposons qu'on ait augmenté la self-induction d'un circuit en fils de 5 mm de 0,02 henry par kilomètre. Il faudra pour cela insérer, comme on l'a fait quelquefois, une bobine de 0,1 henry tous les 5 km. Cette bobine comporte avec elle une augmentation de 7ω environ de la résistance, soit 1,4 ω par kilomètre. De plus, le facteur ϵ , dû à l'imperfection de l'isolement, est considérablement accru, et finalement voici ce que donne le calcul :

	α .	ϵ .	λ .
Circuit aérien 5 mm ordinaire	10^{-6}	0,20	0,0018
Circuit aérien 5 mm pupinisé.....	10^{-6}	1,20	0,0021

Il en résulte qu'on n'aura rien gagné à la pupinisation.

» Ce procédé ne peut être avantageux que pour les fils de petit diamètre auxquels il donnera une portée plus grande, mais il ne s'appliquera pas aux fils de gros diamètre, et, si l'on veut établir une ligne téléphonique entre des points distants de plus de 1800 km, il ne paraît pas qu'il y ait d'autre procédé à employer que de choisir un calibre de fil supérieur à 5 mm. On sera d'ailleurs assez vite arrêté dans cette voie et par le coût de l'établissement de la ligne, et par l'accroissement de l'affaiblissement par défaut d'isolement dû à la diminution de la résistance du conducteur; de sorte qu'une distance de 2500 km paraît être à l'heure actuelle la portée maximum qu'on puisse espérer atteindre avec les moyens connus de transmission téléphonique.

3. RÉSEAUX URBAINS.

» *Lignes courtes.* — Quand la longueur de la ligne est faible, il faut tenir compte, dans l'expression du courant à l'arrivée, du dernier terme de la formule. En supposant que les impédances des

appareils de transmission et de réception soient égales, on a

$$I = \frac{V}{\frac{1}{2} e^{\alpha l}} \frac{Z}{(Z + Z_r)^2} \frac{1}{1 - e^{-2\alpha l} \left(\frac{Z - Z_r}{Z + Z_r} \right)^2}.$$

» Si l'on néglige le dernier terme, comme nous l'avons fait au paragraphe précédent, le courant est représenté en fonction de la longueur de la ligne par une courbe exponentielle que, pour la commodité, nous appellerons *courbe de la ligne indéfinie*.

» La valeur du courant diminue à mesure que la ligne devient plus longue, et cette valeur décroît même assez rapidement. Mais en réalité son allure est plus compliquée et, pour la déterminer exactement, il faut calculer le module de l'expression

$$A = 1 - e^{-2\alpha l} \left(\frac{Z - Z_r}{Z + Z_r} \right)^2.$$

» Si l'impédance de l'appareil était égale à celle de la ligne, l'expression A aurait pour valeur l'unité, quelle que soit la longueur de la ligne, et nous retomberions sur le cas précédent. Mais cette égalité n'est jamais possible, parce que l'impédance de la ligne est équivalente à une résistance et à une capacité, et celle de l'appareil à une résistance et à une self-induction.

» Pour calculer A nous poserons

$$\left(\frac{Z - Z_r}{Z + Z_r} \right)^2 = P e^{i\varphi}$$

et

$$\alpha l = (\alpha + \beta i) l.$$

» Nous aurons

$$A = 1 - P e^{-2\alpha l} e^{(\varphi - 2\beta l)i},$$

dont le module sera

$$A' = \sqrt{1 + P^2 e^{-4\alpha l} - 2 P e^{-2\alpha l} \cos(2\beta l - \varphi)}.$$

» On voit qu'il sera facile de calculer un certain nombre de valeurs de A' . On choisira de préférence celles pour lesquelles $\cos(2\beta l - \varphi)$ s'annule ou est égal à l'unité. On pourra ainsi déterminer, pour un certain nombre de valeurs de l , le facteur A' par lequel il faudra diviser les ordonnées de la courbe exponentielle relative à la ligne indéfinie.

» Nous avons fait ce calcul pour deux lignes usuelles, la ligne

aérienne en fil de cuivre de $\frac{11}{10}$ de millimètre et la ligne souterraine en fils de 1^{mm}. Nous y avons ajouté la ligne de 5 mm, quoique ce ne soit pas une ligne employée pour constituer les réseaux urbains, afin de nous rendre compte des effets de la longueur de la ligne et de déterminer le point à partir duquel on peut pratiquement négliger le terme correctif dont nous nous occupons.

» Les courbes sont données par les figures 1, 2 et 3, et voici les données qui ont servi à les construire. Nous avons considéré chaque fois deux appareils, celui de l'Administration genre Pasquet, dont nous avons déjà parlé, et un appareil genre d'Arsonval. On a, pour ces deux appareils, les impédances suivantes :

$$\begin{array}{ll} 1000 + 500i & \text{appareil Pasquet,} \\ 1700 + 1000i & \text{» d'Arsonval.} \end{array}$$

Au moyen de ces nombres, on peut calculer les données suivantes :

		<i>P.</i>	φ .	<i>P.</i>	φ .
Circuits aériens	5,0 mm.	0,14	65°, 2	0,35	35°, 0
	1,1 — .	0,35	26°, 4	0,48	83°, 9
Circuits souterrains	1,0 — .	0,65	81°, 0	0,81	47°, 7
		Pasquet.		D'Arsonval.	

» *Examen des courbes.* — L'étude des courbes représentées sur les figures 1, 2, 3 nous montre que, pour les lignes qui constituent généralement les réseaux urbains, aériennes en 1,1 mm ou souterraines en 1 mm, le courant commence à croître, atteint un maximum, puis décroît régulièrement en se rapprochant de la courbe de la ligne indéfinie. Ce maximum est différent en grandeur et en position suivant les différentes lignes et les différents appareils. Il est d'ailleurs facile de le déterminer. Il suffira de calculer le minimum de A' . En annulant sa dérivée, on trouve l'équation

$$\alpha \cos(2\beta l - \varphi) + \beta \sin(2\beta l - \varphi) = \alpha P e^{-2\alpha l}.$$

» En considérant l'angle auxiliaire p , tel que

$$\tan p = \frac{\alpha}{\beta},$$

cette équation devient

$$\sin(p + 2\beta l - \varphi) = \alpha \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} P e^{-2\alpha l}.$$

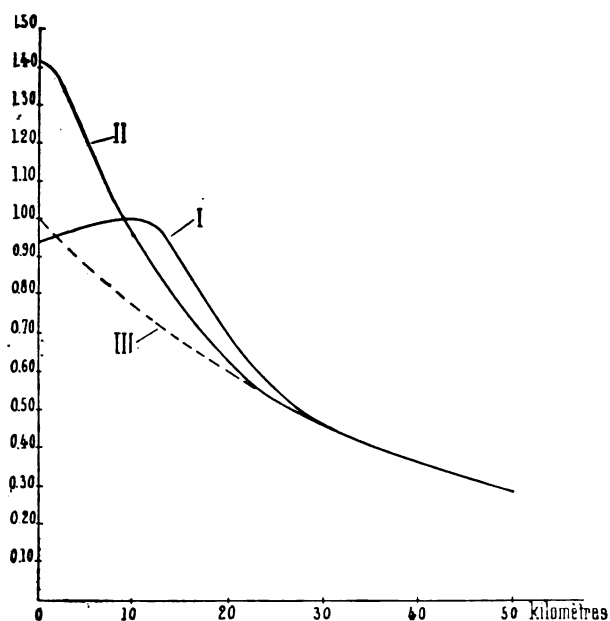


Fig. 1. — Circuit aérien en fil de 1,1 mm.

- I. Appareil d'Arsonval.
- II. Appareil Pasquet.
- III. Exponentielle simple.

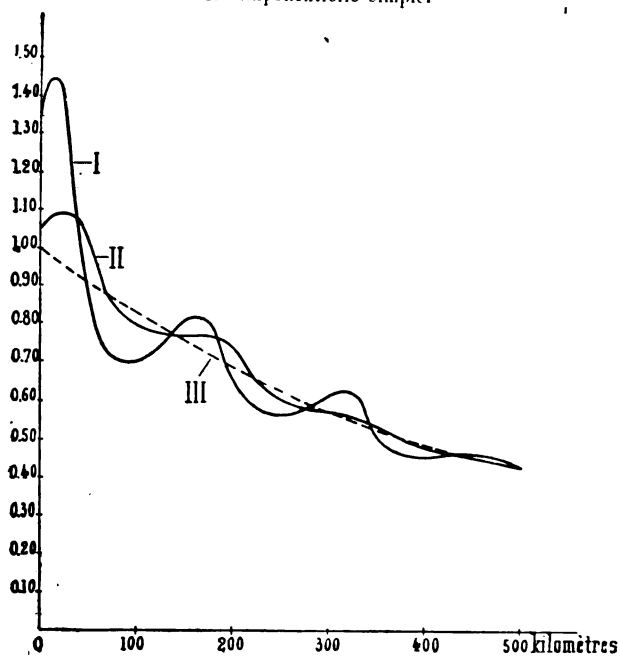


Fig. 2. — Circuit aérien en fil de 5 mm.

- I. Appareil d'Arsonval.
- II. Appareil Pasquet.
- III. Exponentielle simple.

» Le deuxième membre est toujours très petit, et l'équation a pour solution

$$p + 2\beta l - \varphi = K\pi.$$

» Le premier maximum est atteint pour une longueur l_1 donnée par l'équation

$$l_1 = \frac{\varphi - p}{2\beta},$$

ce qui donne, pour les cas où nous nous sommes placés, les valeurs suivantes de l_1 :

		$p.$	$l_1.$	
Circuits aériens	{ 5.0 mm....	0"	27,2 km	15,4 km
	{ 1,1 —	33",7	—1,9 —	11,2 —
Circuits souterrains 1,0 —		45"	4,0 —	0,3 —

» La première colonne correspond à l'appareil Pasquet, la

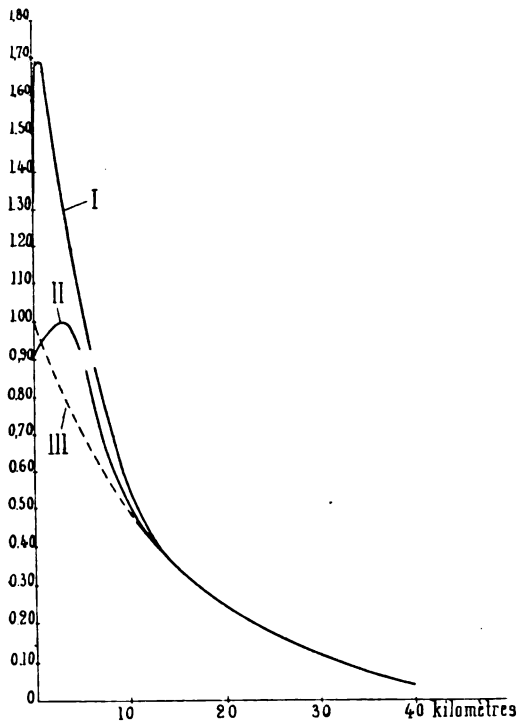


Fig. 3. — Circuit souterrain en fil de 1 mm.

- I. Appareil d'Arsonval.
- II. Appareil Pasquet.
- III. Courbe exponentielle.

deuxième au d'Arsonval. La valeur négative obtenue pour le fil

de 1,1 mm avec l'appareil Pasquet montre que dans ce cas il n'y a pas de maximum réel.

» Le maximum ou plutôt le minimum suivant serait distant du premier d'une longueur

$$l_2 = \frac{\pi}{2\beta},$$

et ainsi de suite. Mais il ne sera sensible que pour les lignes à faible affaiblissement, ainsi qu'il apparait pour le fil de 5 mm. Pour les autres, l'affaiblissement sera déjà trop grand, lors de la deuxième valeur limite, pour qu'il soit apparent.

» Pour les lignes à grande distance, en fil de 5 mm, on remarquera qu'à partir d'une certaine longueur, environ 600 km, la courbe s'écarte très peu de celle de la ligne indéfinie. Or, cette longueur est bien inférieure à celle des lignes usuelles. Cette remarque nous montre donc qu'on peut, pour ces lignes, négliger le facteur A dans toutes les questions de transmission, ce qui simplifie beaucoup les recherches, comme nous le montrerons plus loin.

» Pour les lignes de réseau, au contraire, il faudra tenir le plus grand compte du facteur A . Et ici, il convient de placer une remarque importante. Si la ligne a une longueur nulle, le courant est naturellement indépendant de cette ligne et a pour valeur

$$I_1 = \frac{V}{Z_r}.$$

Comme, en général, le courant commence à croître quand la ligne augmente, puis décroît ensuite, il se trouve que dans une certaine étendue le courant aura une valeur supérieure ou égale à celle-ci. Cette limite sera d'une vingtaine de kilomètres pour les réseaux aériens, de 5 km à 6 km pour les réseaux souterrains. Il est d'ailleurs très remarquable que si la ligne est courte, quelle que soit sa spécification, on entend mieux que si elle n'existait pas. Il en résulte que, dans le cas de réseaux peu étendus, la nature des lignes employées n'a pas d'influence sensible sur la qualité de l'audition. Il y aurait donc tout intérêt à les construire de la façon la plus économique.

» Mais il convient d'ajouter immédiatement que, les abonnés d'un réseau ayant la faculté d'être reliés au moyen du bureau central avec

les lignes interurbaines, il est nécessaire de constituer leurs lignes de façon qu'ils puissent téléphoner à grande distance, et c'est surtout cette considération qui doit intervenir au moment de l'étude de la constitution d'un réseau.

4. LIGNES ARTIFICIELLES.

» *Lignes longues.* — Nous venons de voir que, pour les lignes usuelles, leur longueur est telle que le courant peut être considéré comme décroissant suivant une loi exponentielle à mesure que cette longueur varie. Rappelons sa valeur

$$I = \frac{V}{\frac{1}{2}e^{\alpha l}} \frac{Z}{(Z + Z_1)(Z + Z_2)}.$$

Cette formule est susceptible d'une interprétation assez simple.

» *La ligne longue non seulement affaiblit le courant suivant une loi exponentielle, mais elle se comporte à chacune de ses extrémités comme une simple impédance Z .*

» En effet, l'appareil transmetteur produisant une f. e. m. V , la f. e. m. au début de la ligne, si cette ligne peut être considérée comme une impédance Z , placée dans le circuit total $Z + Z_1$, aura la valeur

$$V_1 = \frac{VZ}{Z + Z_1}.$$

» A l'arrivée cette f. e. m. sera devenue

$$V_2 = \frac{V_1}{\frac{1}{2}e^{\alpha l}} = \frac{V}{\frac{1}{2}e^{\alpha l}} \frac{Z}{Z + Z_1},$$

et donnera, dans le circuit total d'arrivée $Z + Z_2$, un courant

$$I = \frac{V_2}{Z + Z_2} = \frac{V}{\frac{1}{2}e^{\alpha l}} \frac{Z}{(Z + Z_1)(Z + Z_2)}.$$

» Cette remarque conduit immédiatement à penser qu'il doit être facile de trouver un dispositif qui reproduise les mêmes phénomènes.

» *Lignes artificielles.* — Prenons deux caisses de résistances R et réunissons-les en leurs deux extrémités par des impédances Z . Plaçons maintenant un appareil à chaque extrémité : l'appareil transmetteur Z_1 entre A et B, l'appareil récepteur Z_2 entre A' et B'.

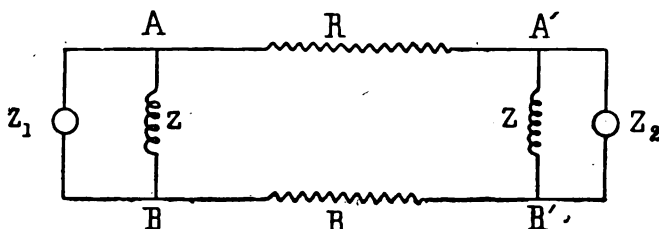


Fig. 4.

En conservant les mêmes notations que précédemment et en introduisant deux nouvelles quantités

$$Z' = \frac{ZZ_1}{Z + Z_1}, \quad Z'' = \frac{ZZ_2}{Z + Z_2},$$

on aura

$$V_1 = \frac{VZ}{Z_1 + Z} \frac{2R + Z''}{2R + Z' + Z''}$$

et

$$I = \frac{V_1 Z}{Z + Z_2} \frac{1}{2R + Z''} = \frac{VZ}{(Z + Z_1)(Z + Z_2)} \frac{Z}{2R + Z' + Z''}.$$

» Le dispositif sera donc équivalent à la ligne réelle, si l'on a

$$(B) \quad e^{2l} = 2 \frac{2R + Z' + Z''}{Z}.$$

» On voit immédiatement que ce dispositif n'est pas une ligne artificielle parfaite. En effet, la formule (B) renferme des termes Z' et Z'' qui dépendent des appareils, qui varieront avec les différents appareils, alors qu'un dispositif artificiel pour mériter le nom de *ligne* devrait être indépendant des appareils. Cependant il y a lieu de remarquer que les quantités Z' et Z'' varient peu avec les appareils employés. Ainsi, pour une ligne aérienne $Z = 600$ et des appareils Pasquet et d'Arsonval, on a

$$Z' = 396 + 66i,$$

$$Z'' = 468 + 60i.$$

» La quantité $2R$ aura généralement une valeur voisine de 5000ω .

Si donc on tient compte des valeurs de Z' et de Z'' , quand on emploiera différents appareils, la somme $Z' + Z''$ pourra varier d'une centaine d'ohms et par conséquent la quantité (B) de 1 à 2 pour 100 d'une expérience à l'autre. L'erreur qui pourra provenir de ce fait, si même elle existe, sera donc négligeable en pratique.

» *Conditions d'emploi.* — La ligne artificielle ainsi composée pourra être utilisée de différentes manières. Elle pourra rendre de grands services dans un laboratoire, car elle permettra de réaliser des expériences avec les appareils mêmes qui servent à l'exploitation des lignes téléphoniques, dans les conditions de leur emploi. Cette considération a une certaine valeur sur laquelle il n'est pas inutile d'insister. Les courants téléphoniques sont très variables en intensité, il est pour cette raison difficile d'utiliser pour leur étude des galvanomètres; les galvanomètres Dundell eux-mêmes, si précieux quand l'intensité efficace du courant est à peu près constante, sont d'un emploi très peu commode. Le récepteur téléphonique, utilisé pour constater si des courants téléphoniques sont de même intensité, est certainement loin d'avoir une précision très rigoureuse; il permet cependant de faire des déterminations qui seront très satisfaisantes en pratique.

» Pour les lignes aériennes, l'impédance Z étant à peu près indépendante de la fréquence, la détermination de l'affaiblissement α se fera sans difficulté.

» Pour les lignes souterraines, on emploiera commodément la ligne artificielle pour étudier d'abord la variation de α avec la fréquence. On prendra comme générateur un alternateur pouvant donner du courant sinusoïdal de 100 à 3000 périodes. On pourra de cette façon comparer les valeurs mesurées avec celles qu'on déduit du calcul. Puis ensuite, employant comme générateur un microphone ordinaire, on pourra déterminer la valeur de α qui convient pour les courants téléphoniques et en déduire la valeur correspondante de la fréquence.

» Des essais, fait dans ce but, nous ont permis de reconnaître que la fréquence 1000 était bien celle qui paraissait se rapporter aux phénomènes produits par les courants téléphoniques, et nous

avons obtenu ainsi un nouvel argument en faveur de l'hypothèse que ces courants peuvent être remplacés, pour les recherches de laboratoire, par un courant sinusoïdal simple.

» Enfin, la ligne artificielle sera très commode quand il s'agira d'expérimenter un nouvel appareil. On le comparera sans difficulté avec un appareil connu et l'on pourra savoir immédiatement quelle est sa valeur, sans avoir besoin de recourir à des expériences en ligne qui, en raison de leurs difficultés d'exécution, ne devront être entreprises que si le résultat en local a été favorable. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Devaux-Charbonnel de cette intéressante Communication.

**TEMPÉRATURES ADMISSIBLES DANS LES MACHINES DYNAMOS. PROCÉDÉS
DE DÉTERMINATION, D'APRÈS LES TRAVAUX DE LA PREMIÈRE SECTION
DU COMITÉ.**

I.

M. BRUNSWICK. — « 1. Une des questions qui s'imposent le plus à l'attention des constructeurs est, sans contredit, celle de la température admissible dans les divers organes des dynamos.

» La façon dont se comportent les matériaux de construction sous l'influence de la chaleur, la température limite qu'ils peuvent supporter sans altération de leurs propriétés isolantes, électriques et mécaniques sont des facteurs dont la connaissance est capitale.

» Les transactions commerciales, les réglementations professionnelles ont accoutumé d'introduire dans les cahiers des charges des conditions d'échauffement inspirées plutôt par les usages de la pratique que reposant sur des bases scientifiquement établies.

» De nombreuses divergences dans les règles admises montrent que l'accord n'a pu être établi, certainement, faute d'un ensemble d'expériences raisonnées sur les propriétés des matériaux.

» Les rares travaux sur ce sujet sont disséminés dans les publications et peu connus.

» En 1905, la Société internationale des Électriciens ayant été saisie par le Ministère de la Marine d'un questionnaire visant les conditions à remplir par les appareils électriques industriels, la première section du Comité fut appelée, en ce qui concernait les machines, à formuler son avis; elle procéda à une étude qui occupa de nombreuses séances sous la présidence de M. Boucherot et convoqua, à cet effet, les maisons de construction françaises dont les principales furent assidûment représentées aux délibérations.

» Plus récemment, la question s'est posée de savoir s'il n'y aurait pas lieu d'insister sur certains détails des méthodes préconisées.

» Il est à remarquer que la question revient bien à son heure, en raison des discussions engagées de divers côtés sur les cahiers des charges relatifs aux appareils électriques.

» Les procès-verbaux de la première Section du Comité sont, à cet égard, particulièrement utiles à consulter et nous entreprendrons d'en rapporter les principales dispositions.

» Nous avons également, pour le travail qui nous occupe, mis à contribution les rapports de l'Engineering Standards Committee⁽¹⁾ sur lesquels nous aurons l'occasion de revenir.

» Nous examinerons successivement les divers aspects de la question.

» Les travaux de la première Section, en 1905, avaient porté sur les machines à courant continu; les considérations émises peuvent évidemment s'étendre, au point de vue qui nous occupe et sans qu'il soit besoin d'insister, à tous les genres d'appareils.

II. — MATÉRIAUX A RECOMMANDER POUR LA CONSTRUCTION DES MACHINES ÉLECTRIQUES.

» 2. Nous ne nous occuperons uniquement que des machines de construction usuelle.

» Il y a lieu, tout d'abord, de distinguer entre les métaux, principalement les tôles et le cuivre, et les isolants.

» 3. *Métaux.* — En ce qui concerne la perméabilité des matériaux, l'hystérésis et la résistivité des tôles de l'induit, il est évident qu'il n'y a pas à fixer de conditions au constructeur, les vérifications relatives à l'échauffement et au rendement ayant pour effet d'imposer le choix de matériaux de bonne qualité.

(¹) *The Engineering Standards Committee* a été constitué, en vue d'étudier les questions intéressant l'industrie électrique, par les associations techniques ci-après : *The Institution of civil Engineers; The Institution of mechanical Engineers; The Institution of naval Architects; The Iron and Steel Institute; The Institution of electrical Engineers.*

Les travaux de ce Comité portèrent principalement sur les matériaux isolants divers et sur l'échauffement des bobines inductrices.

Voir, pour comptes rendus des travaux de *The Engineering Standards Committee*, les publications intitulées :

Report on the Effect of Temperature on insulating Materials et *Report on Temperature Experiments on Field Coils of electrical Machines*, éditées par Crossby Lockwood and Sons, stationers Hall Court.

» Quant aux lames de collecteur, le cuivre rouge étiré ou étampé paraît actuellement le seul métal recommandable pour la constitution des collecteurs, les balais de charbon étant imposés.

» Pour les fils de cuivre, la résistivité n'a pas non plus besoin, pour les mêmes raisons que plus haut, d'être imposée au constructeur; la pratique enseigne qu'elle ne doit pas être supérieure à 1,8 microhm-cm à 15° C. pour les fils de 1 mm et au-dessus; à 1,9 pour ceux de 0,7 à 0,15; à 2 pour ceux de 0,4 à 0,6.

» 4. *Isolants; leur nature* : 1° *Isolants du collecteur*. — Pour l'isolation des lames entre elles, l'emploi du mica et de ses dérivés non hygrométriques et non spongieux paraît actuellement préférable.

» Quant aux emboîtures (isolation des extrémités des lames), l'expérience ne paraît pas devoir imposer un choix particulier entre le mica, ses dérivés ou les cartons ou papiers spéciaux connus sous le nom de *presspahn*, pourvu que les matières isolantes soient efficacement protégées contre l'humidité.

» 2° *Isolants des conducteurs* (1). — Le coton, la soie, les matières textiles ou fibreuses sont principalement employés, comme l'on sait, dans la construction courante ainsi que les combinaisons avec le mica ou l'amiante.

III. — PROPRIÉTÉS DES MATIÈRES ISOLANTES EMPLOYÉES DANS LA CONSTRUCTION DES MACHINES DYNAMOS. CARACTÈRES PHYSIQUES.

» 5. *Isolants des fils*. — Le coton est le plus employé sous forme de guipage (ou couverture), en hélice ou tressé.

» La pratique montre que les séparations des lames de coton ne deviennent apparentes (2), au microscope, avec 1, 2, 3 guipages, qu'avec des courbures égales à 9 diamètres, avec les fils de coton n°s 50, 60, 90 ou 100 ordinairement employés.

(1) Nous laisserons de côté, pour le moment, les procédés d'isolation par émaillage

(2) M. Alliot a communiqué à ce sujet les renseignements suivants :

1° Valeurs des rayons d'enroulement à partir et au delà desquels des *clairs* appa-

» 6. *Pouvoir absorbant du coton par l'humidité.* — Le coton marchand renferme de 5 à 7 pour 100 de son poids d'eau.

» Le rapport de l'Engineering Standards Committee donne, à propos des propriétés absorbantes du coton, les indications suivantes, relatives à un échantillon de 30 g :

Perte de poids par séchage à 120° C.

	Pour 100.
Après 30 minutes.....	5,1
» 1 heure.....	6,5
» 3 heures.....	6,93
» 15 heures.....	6,93

» En exposant à nouveau le coton à l'air, le gain de poids a été trouvé :

	Pour 100.
Après 30 minutes.....	0,68
» 1 heure.....	1,2
» 3 heures.....	2,38
» 15 heures.....	4,23
» 14 jours.....	6,34

c'est-à-dire que le coton revient très sensiblement à son état initial s'il n'est protégé contre l'absorption.

» 7. En ce qui concerne la nature des isolants proprement dits des conducteurs, la première Section du Comité a été d'avis :

» 1° De conseiller l'emploi du fil de coton jusqu'à 4 ou 5 mm de

raissent visibles à la loupe, dans les guipages utilisés en pratique :

	Diamètre du fil (en mm).	0,4	0,7	1	1,2	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Apparition des clairs.	Guipages à 1 couche.....	1	1,5	1,7	2	3	5	8	10	12	14	16
	Guipages à 2 couches.....	0,5	1	1,2	1,5	1,8	3	5	5	7	8	10
	Guipages à 3 couches.....	0,5	0,7	1	1	1,3	1,5	2,5	3	5	6	8

2° Augmentation de diamètre produit par le guipage avec coton sec :

	1 couche.	2 couches.	3 couches.
Coton n° 50 (1).....	0,2 à 0,25	0,35 à 0,4	0,52 à 0,57
» 60.....	0,15 à 0,2	0,2 à 0,35	0,45 à 0,5
» 100.....	0,12 à 0,17	0,25 à 0,3	0,3 à 0,35

Un enduit de bitume de Judée augmente le diamètre de 0,05 mm à 0,1 mm.

(1) Le numéro du fil indique le nombre de mètres contenus dans une masse de 100^g.

diamètre en admettant au besoin la soie pour les fils très fins (moins de $\frac{7}{10}$ mm de diamètre);

» 2° Qu'il n'y avait pas lieu d'exiger des garanties spéciales pour le coton employé;

» 3° Qu'il n'y avait pas lieu de fixer *a priori* un certain nombre de guipages ou de tresses; il suffit de fixer l'épaisseur de coton ou plus simplement les diamètres du fil nu et isolé et d'exiger que le recouvrement ne présente pas d'irrégularités manifestes.

IV. — INFLUENCE DE LA CHALEUR SUR LA TÉNACITÉ ET LA DÉSAGRÉGATION DES ISOLANTS.

» 8. La ténacité des fils de coton a été l'objet d'observations assez minutieuses quant à l'influence de la température.

» La résistance à la traction varie beaucoup, à température égale, suivant la longueur des fibres employées, le degré de torsion et la qualité du matériel de filature qui donne un fil plus ou moins régulier.

» Les chiffres suivants ⁽¹⁾ sont des moyennes obtenues à différentes températures dans des essais effectués séparément par MM. Alliot et Pascal; les résultats obtenus par ces deux expérimentateurs ont été trouvés très concordants.

Expériences comparatives sur échantillons de même composition.

(M. ALLIOT.)

Nature des échantillons.	Température.	Charge de rupture (moyenne de 10 essais).
Coton n° 50; poids de l'échantillon : 50, 42 g.....	15° à 25°	124 g à 134 g
	169°	108 g
	190	83
	226	56

(M. PASCAL.)

Fil n° 60.....	15° à 25°	730
	120°	600
	130	500

» 9. *Influence de la température sur la coloration du coton écriu.* —

(1) Ces valeurs doivent être retenues à titre comparatif seulement, les dispositifs opératoires n'ayant pas permis de déterminer des valeurs absolues précises.

La coloration du coton, en opérant sur des lames, n'est pas sensiblement affectée jusqu'à 170°. La teinte *jaune naissant* apparaît à cette température et devient très accentuée vers 225°. La désagrégation commence à 270° et la carbonisation est complète à 300° C.

» Une bobine de coton placée durant 30 heures dans une étuve à 135°-160° C. donne seulement lieu à un commencement de jaunissement vers le centre; la même, placée dans une étuve à 200° C. durant 5 heures, devient complètement jaune.

» 10. *Influence simultanée de la durée de l'échauffement et de la température.* — Divers fils de coton soumis durant 7 fois 24 heures consécutives à une température de 100° à 110° C. n'ont subi aucune altération sensible d'aspect.

» En poussant la température à 175° C. on a observé les résultats ci-dessous :

État initial à 15° C.	Époques (à 135° C.).					
	Après 10 ^h .	20 ^h .	30 ^h .	40 ^h .	50 ^h .	60 ^h .
Charges de rupture. 111 g	98 g	92 g	88 g	83 g	80 g	78 g

» D'autre part, un échantillon de coton n° 50, maintenu à 200°C. durant 5 heures, est complètement jauni; la charge de rupture passe de 125 g, pour la température ordinaire, à 30 g.

» Enfin un étuvage de 5 à 6 jours n'a pas causé de modification notable du coton jusqu'à 130° C.; en passant de 130° à 150° C. la charge de rupture est tombée de 1000 g à 765 g.

» 11. M. Alliot a soumis, d'autre part, une bobine cylindrique de fil de cuivre guipée au coton n° 60 et mesurant

Hauteur.....	13 ^{cm}
Diamètre extérieur.....	8,5
Diamètre intérieur.....	4,5

à un étuvage de 125° à 135° durant 300 heures sans observer aucune altération.

» La résistance de la bobine à froid était de 159 ω et à chaud de 233 ω ; la valeur à froid a été retrouvée la même après refroidissement postérieur à l'étuvage.

» La teinture du coton semble diminuer la ténacité de façon très sensible.

» Ainsi un échantillon de coton teint en vert a donné les résultats suivants :

Charge de rupture.....	600	°	à	130
Charge de rupture.....	200		à	160
Friable.....	»		à	185

» On a constaté avec la teinture rouge un effet encore plus défavorable.

» 12. *Résultats du National Physical Laboratory.* — Dans les essais effectués au National Physical Laboratory (1) à l'instigation de l'Engineering Standards Committee, sur des échantillons de fils couverts de coton, aucune altération sérieuse ne s'est manifestée jusqu'à 125°. A partir de cette température, le coton prenait une teinte plus sombre; soumis ensuite pendant un temps assez long à la température maxima de 180°, il devenait presque noir. Toutefois, le coton ainsi traité, comparé à des échantillons conservés à la température atmosphérique, restait excellent au point de vue isolant. Pratiquement, la carbonisation, même quand le coton était devenu le plus noir, ne donnait lieu à aucun passage sensible de courant au travers du coton.

» Si l'on se rapporte au changement caractérisé par la modification de la couleur, *la température de 125° devrait être considérée comme la limite approximative de sécurité admissible pour cette matière.*

» 13. *Vérification de la variation d'isolement avec la température.* — Une expérience très caractéristique est encore citée par l'Engineering Standards Committee et montre l'influence des variations de température sur la résistance du coton : un tube de verre de 37 mm de diamètre et de 30 cm environ de longueur recevait deux solénoïdes superposés constitués par du fil de cuivre de $\frac{12}{10}$ à 2 guipages de coton; l'un appliqué sur le tube comprenait 120 spires; l'autre, à l'extérieur du premier, comptait 100 spires.

(1) *Report on Temperature Experiments on Field Coils of electrical Machines*, p. 19.

» Le tube ainsi garni était suspendu dans un fort cylindre creux en laiton garni d'amiante et supportant un enroulement destiné à chauffer électriquement tout l'ensemble, le cylindre étant fermé à ses deux extrémités par des bouchons en magnésie traversés par des connexions reliées aux enroulements solénoïdaux. On pouvait

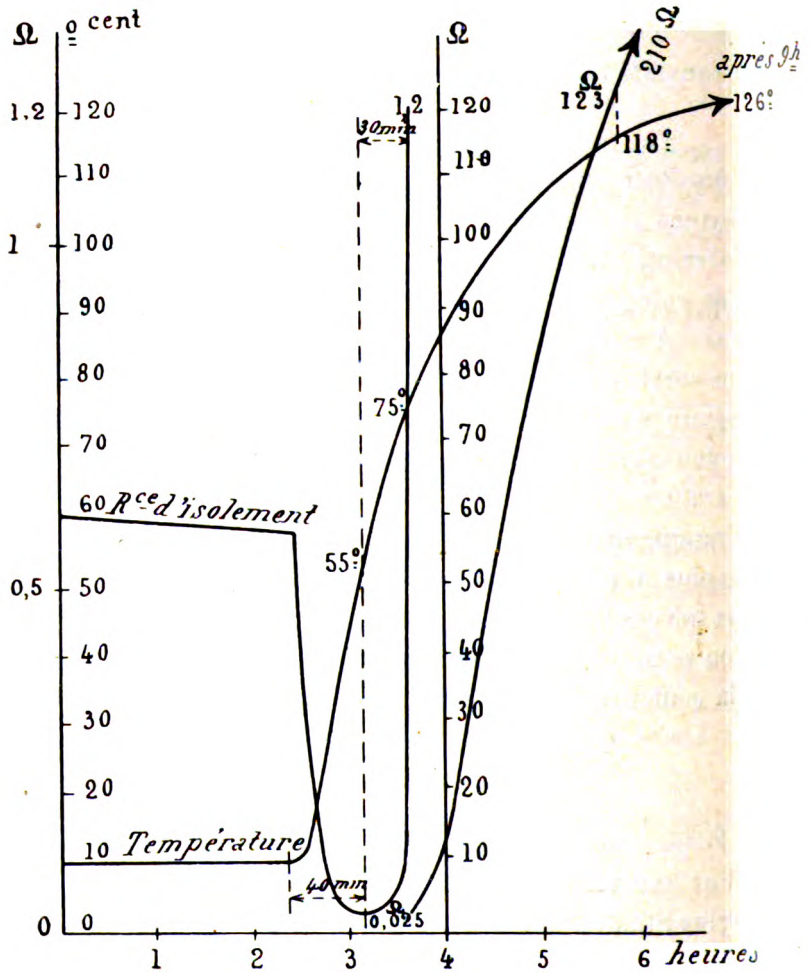


Fig. 1. — Influence d'un échauffement progressif sur la résistance d'isolement du coton.

ainsi mesurer la résistance d'isolement entre ceux-ci; la température était indiquée par un thermomètre placé également dans le tube.

» La résistance d'isolement (voir fig. 1), qui était environ de 0,6 mégohm à la température atmosphérique, tombait à 0,025 pour

un changement de température progressif de 10° à 55° , en 40 minutes, puis, comme l'indique le graphique, remontait à $1,2 \Omega$ dans les 30 minutes suivantes, en passant de 55° à 75° .

» La résistance d'isolement continuait à croître jusqu'à 123Ω , au bout de 6 heures d'essai, la température ayant passé progressivement de 75° à 118° . Enfin, après 9 heures, la résistance d'isole-

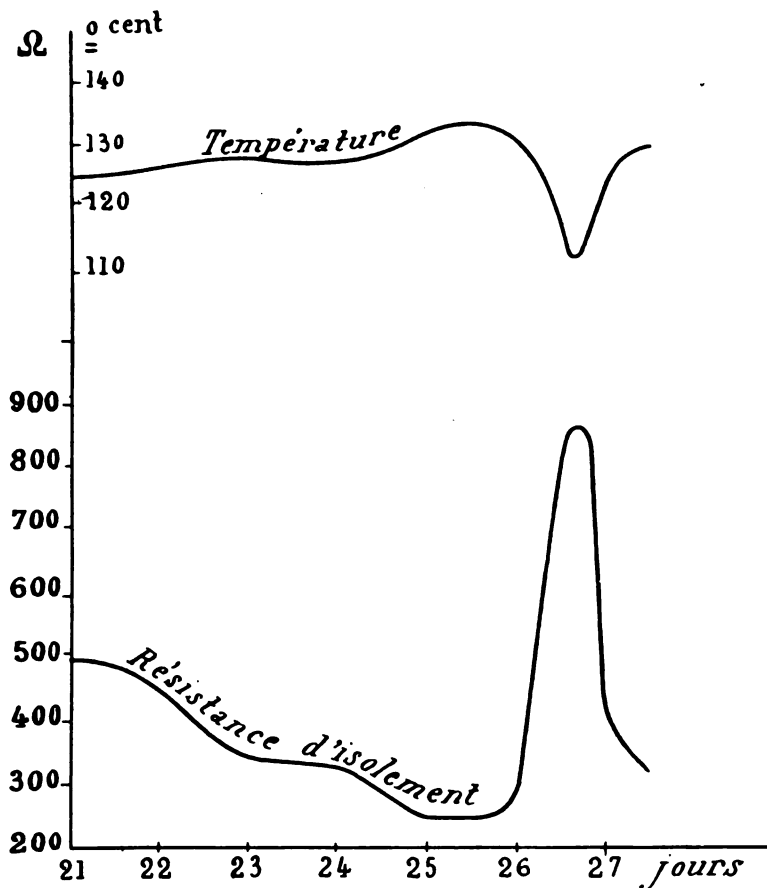


Fig. 2. — Influence de la variation de température sur la résistance d'isolement du coton après échauffement prolongé.

ment était de 210Ω (pour 126°C.). En prolongeant l'essai, on a constaté (fig. 2) au bout de 21 jours que la résistance d'isolement, qui atteignait alors 480Ω (à 126°C.), suivait très nettement les variations de la température.

» L'essai ayant été poursuivi à une température maintenue entre

115° et 140° C. (jusqu'au 36^e jour), il a été constaté qu'un changement de température accusait toujours (*fig. 3*) une variation importante dans la résistance d'isolement, ce qui confirme bien une propriété du coton qu'on retrouve d'ailleurs pour nombre de matières isolantes.

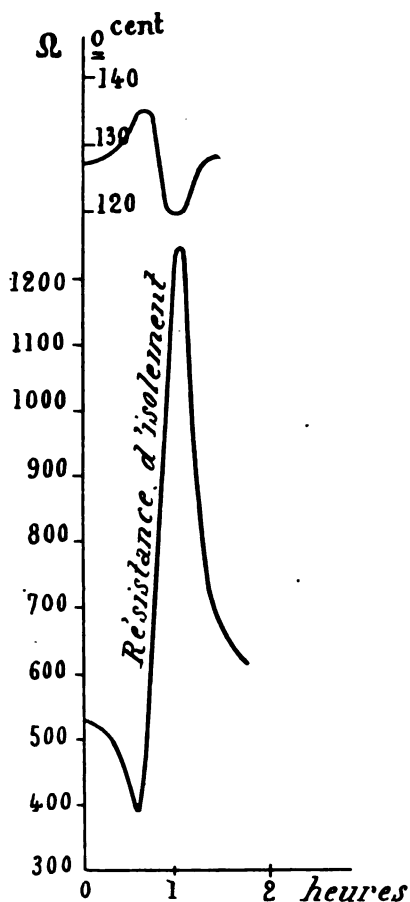


Fig. 3. — Variation de la résistance d'isolement après échauffement très prolongé.

» Il convient d'observer que ces essais étaient effectués sur des solénoïdes disposés dans un tube, à l'abri de toutes perturbations mécaniques, sans trépidations ni mouvements de dilatation ou de contraction répétés.

» Les valeurs d'isolement se ressentiraient-elles de circonstances de ce genre? Bien certainement, et c'est le cas justement des machines où il est indispensable, non seulement que les propriétés

isolantes soient maintenues, mais encore qu'elles coexistent avec la ténacité mécanique sous peine de voir les isolants tomber en poussière.

» On ne saurait donc inférer de ce dernier essai que les températures de 115° à 140° puissent être admises pour les isolants du genre coton dans la construction des machines.

» 14. En résumé, il y a concordance remarquable entre les résultats de l'Engineering Standards Committee et ceux communiqués à la première Section du Comité de la Société internationale des Électriciens en 1905 par MM. Alliot et Pascal.

» Il en découle que *la température maxima à partir et au delà de laquelle le coton perd les qualités qui lui sont indispensables est voisine de 130°*, les propriétés isolantes pouvant cependant subsister au delà, mais sans intérêt pour la construction.

» 15. *La soie* a été moins étudiée que le coton; cependant les résultats suivants ont pu être communiqués par MM. Alliot et Pascal :

» *Qualités* : chapes de Hongrie, tussah, soie de Chine, soie du Japon.

» La ténacité semble croître jusqu'à 120° et varie peu ensuite de 120° à 160°, mais décroît alors rapidement à partir de 200° C., principalement pour les soies de Chine et du Japon.

» Les chiffres ci-dessous montrent l'allure du phénomène :

<i>Soie de Chine.</i>		Charge de rupture.
		°
Avant étuvage.....		120
Après 2 heures à 200° C.....		83
» 4 »		29
» 6 »		10
» 8 »		0

» Les ténacités des différentes qualités sont entre elles comme les nombres suivants, à froid :

Tussah	7635
Japon	7200
Chine	6500
Coton	6200

115° et 140° C. (jusqu'au 36^e jour), il a été constaté qu'un changement de température accusait toujours (*fig. 3*) une variation importante dans la résistance d'isolement, ce qui confirme bien une propriété du coton qu'on retrouve d'ailleurs pour nombre de matières isolantes.

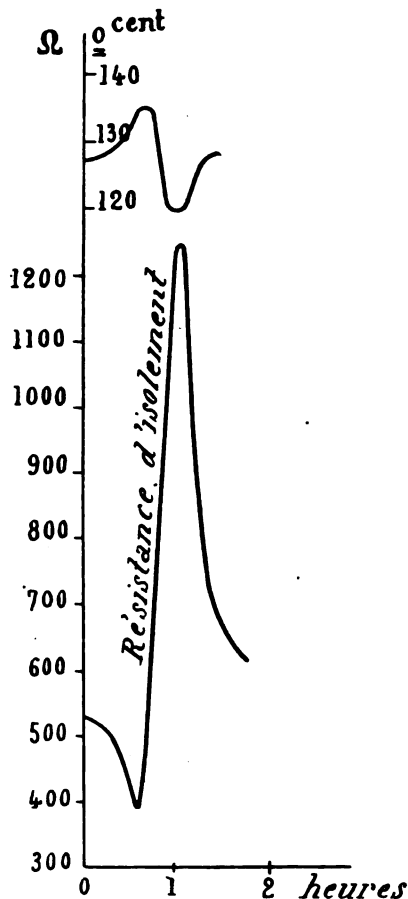


Fig. 3. — Variation de la résistance d'isolement après échauffement très prolongé.

» Il convient d'observer que ces essais étaient effectués sur des solénoïdes disposés dans un tube, à l'abri de toutes perturbations mécaniques, sans trépidations ni mouvements de dilatation ou de contraction répétés.

» Les valeurs d'isolement se ressentiraient-elles de circonstances de ce genre? Bien certainement, et c'est le cas justement des machines où il est indispensable, non seulement que les propriétés

isolantes soient maintenues, mais encore qu'elles coexistent avec la ténacité mécanique sous peine de voir les isolants tomber en poussière.

» On ne saurait donc inférer de ce dernier essai que les températures de 115° à 140° puissent être admises pour les isolants du genre coton dans la construction des machines.

» 14. En résumé, il y a concordance remarquable entre les résultats de l'Engineering Standards Committee et ceux communiqués à la première Section du Comité de la Société internationale des Électriciens en 1905 par MM. Alliot et Pascal.

» Il en découle que *la température maxima à partir et au delà de laquelle le coton perd les qualités qui lui sont indispensables est voisine de 130°, les propriétés isolantes pouvant cependant subsister au delà, mais sans intérêt pour la construction.*

» 15. *La soie* a été moins étudiée que le coton; cependant les résultats suivants ont pu être communiqués par MM. Alliot et Pascal :

» *Qualités* : chapes de Hongrie, tussah, soie de Chine, soie du Japon.

» La ténacité semble croître jusqu'à 120° et varie peu ensuite de 120° à 160°, mais décroît alors rapidement à partir de 200° C., principalement pour les soies de Chine et du Japon.

» Les chiffres ci-dessous montrent l'allure du phénomène :

<i>Soie de Chine.</i>		Charge de rupture.
		^K
Avant étuvage.....		120
Après 2 heures à 200° C.....		83
» 4	»	29
» 6	»	10
» 8	»	0

» Les ténacités des différentes qualités sont entre elles comme les nombres suivants, à froid :

Tussah	7635
Japon	7200
Chine	6500
Coton.....	6200

» Il a été déduit de ces essais que la charge de rupture variait peu jusqu'à 146°C. et que la soie pouvait admettre sans modification sensible une température de 150° à 160°, suivant les qualités.

» 16. *Autres matières isolantes.* — Les autres matières isolantes du genre textile ou fibreux employées dans la construction des machines courantes, étant d'un intérêt moins immédiat, quant à l'enquête menée en 1905 par la première Section, n'ont pas fait, à cette époque, l'objet d'une étude approfondie, la limite d'échauffement pour ces matières étant subordonnée à celle admissible pour le coton.

» Les produits du genre émail, ceux à base de mica aggloméré et d'amiante, en un mot tous les produits spéciaux résistant particulièrement aux températures supérieures à 150°C. et au sujet desquels des recherches ont été poursuivies dans ces derniers temps, ont été également laissés de côté dans la présente étude, les applications n'en existant encore qu'à l'état de rares tentatives sur lesquelles les renseignements expérimentaux manquent encore. Ces produits, soit dit en passant, n'en présentent pas moins un très grand intérêt sur lequel il y aura lieu de revenir dans un but de recherches et de progrès ultérieurs.

» 17. Nous avons trouvé cependant des renseignements très caractéristiques au sujet des matériaux divers dans le compte rendu des travaux que le National Physical Laboratory fut chargé d'organiser et poursuivre par l'Engineering Standards Committee, sous la haute direction de M. le Dr Glazebrook.

» Parallèlement au National Physical Laboratory, les ateliers de MM. Crompton et Cie, à Chelmsford, et ceux de MM. Siemens frères, à Woolwich, entreprirent, à titre de comparaison industrielle, des essais de même nature ; nous avons résumé dans le Tableau ci-après les résultats les plus frappants.

» Nous signalerons que, dans la plupart des exemples cités, les essais ont bien porté sur quantité d'échantillons de chaque catégorie ; mais, le nombre de ceux traités n'étant pas spécifié, nous n'avons pu en déduire la valeur relative des moyennes indiquées ni dans quelle mesure les chiffres observés pourraient être généralisés.

» Il est à remarquer, en outre, que les éléments variables n'ont pas été combinés, sauf de rares exceptions, en sorte que les chiffres cités ne s'appliquent qu'à des variations d'une seule espèce alors que, dans les machines, les diverses influences agissent simultanément.

» Quoi qu'il en soit, nous retiendrons que le but était ici de déterminer les températures limites au delà desquelles les isolants perdaient leurs qualités mécaniques, voire électriques.

» Le programme comprenait : 1° des essais de flexibilité par enroulement et déroulement sur des cylindres de diamètres déterminés ; 2° des essais de poinçonnage ; 3° la recherche des effets de la température et de l'humidité de l'air ; 4° des essais de rigidité diélectrique à diverses tensions et fréquences.

» Les échantillons étaient placés, durant plusieurs semaines parfois, dans une étuve chauffée électriquement et maintenue successivement aux températures ci-après :

	degrés C.		degrés C.
1°.....	75	à	100
2°.....	100	»	125
3°.....	125	»	150

» Les Tableaux I et II ci-annexés résument une partie des essais du National Physical Laboratory et portent sur une grande variété d'isolants.

TABLEAU I.

Nature des échantillons (1).	Conditions de l'essai.	Durée.	Température.	Résultats : rupture à
				volt.
Pressspahn.....	Après étuvage	6 semaines	75° à 100°	{ 3750 56 p : s 3300 36 p : s
	Dans l'étuve	Id.	A 100°	3150
	Après étuvage	Id.	A froid, au bout de 1 m	3400
	Non chauffé	6 semaines		{ 4580 50 p : s 4370 37 p : s
	Dans l'étuve	Id.	A 100° C.	4330
	Après étuvage	Id.	A froid au bout de 1 m	5200
Ruban huilé.....	Après étuvage à 125°-150° C. }	3 mois	{ Après 5 m d'exposition à l'air }	{ 3625 2500
	Id.		Id.	{ Application prolongée de la tension de 10 s à 4 m 15 s }
	Après étuvage à 100°-125° }	Id.	{ Après 5 m d'exposition à l'air }	{ 4250 3000
	Id.	Id.	{ Application prolongée de la tension de 15 s à 4 m 15 s }	{ à 3800
	Chauffé	7 semaines	100° à 125° C.	3630
	Id.	Id.	75° à 125° C.	3730
Carton waterproof..	Non chauffé			2420
	Le même, chauffé	14 heures	75° C.	3760

(1) *Mode d'essai.* — Échantillons placés entre deux électrodes en laiton de 5 cm² sous charge de 2 kg. Tension de rupture appliquée en 15 secondes.

TABLEAU II.

a, Matière non chauffée.

b, Matière essayée après étuvage de 75° à 100°.

c, Matière essayée après étuvage de 100° à 125°.

d, Matière essayée après étuvage de 125° à 150°.

Matériaux.	Condi- tions.	Tension de rupture du diélectrique en volts.	Écart maximum des tensions de rupture observées. pour 100	Épaisseur en milli- mètres.	volts : mm.	Ténacité. Charge produisant le poinçonnage en kg sur un cercle de 13 ^{mm} de diamètre.
Pressspahn....	<i>a</i>	2180	9	0,23	9500	25
	<i>b</i>	2330	6	»	10000	26
	<i>c</i>	2330	6	»	10200	26
Pressspahn....	<i>a</i>	2920	13	0,56	5200	48
	<i>b</i>	3550	3	»	6300	48
	<i>c</i>	3670	7	»	6550	36
	<i>d</i>	3330	3	»	5950	18
Pressspahn....	<i>a</i>	6650	2	1,61	4150	>68
	<i>b</i>	>9000	»	»	>5600	>68
	<i>c</i>	>9000	»	»	>5600	>68
Pressspahn avec vernis standard.....	<i>a</i>	3610	8	0,34	10500	26
	<i>b</i>	7120	12	»	21000	34
	<i>c</i>	>9000	»	»	>26000	30
	<i>d</i>	>9000	»	»	>26000	27
Papier manille.....	<i>a</i>	1540	8	0,28	5500	28
	<i>b</i>	1540	2	»	5500	19
	<i>c</i>	1590	5	»	5700	11
Papier manille.....	<i>a</i>	1620	4	0,38	4300	31
	<i>b</i>	1920	4	»	5100	19
	<i>c</i>	1840	5	»	4800	11
Papier manille et vernis standard.....	<i>a</i>	1800	2	0,34	5300	25
	<i>b</i>	3400	8	»	10000	21
	<i>c</i>	4340	8	»	12700	19
	<i>d</i>	4180	9	»	12300	17
Carton waterproof....	<i>a</i>	2420	2	0,29	8300	28
	<i>b</i>	3720	7	»	12800	30
	<i>c</i>	3630	11	»	12500	15
Ruban huilé....	<i>a</i>	4580	4	0,22	21000	13
	<i>b</i>	5110	20	»	23000	12
	<i>c</i>	4650	14	»	21000	11
	<i>d</i>	3940	12	»	18000	8,6

TABLEAU II (suite).

a, Matière non chauffée.

b, Matière essayée après étuvage de 75° à 100°.

c, Matière essayée après étuvage de 100° à 125°.

d, Matière essayée après étuvage de 125° à 150°.

Matériaux.	Condi- tions.	Tension de rupture du diélectrique en volts.	Écart maximum des tensions de rupture observées. pour 100	Épaisseur en milli- mètres.	volts : mm.	Ténacité. — Charge produisant le poinçonnage en kg sur un cercle de 13 ^{mm} de diamètre.
Papier rouge huilé.....	<i>a</i>	6600	6	0,25	26000	13
	<i>b</i>	6850	11	»	27000	15,5
	<i>c</i>	7900	13	»	31000	17
	<i>d</i>	6940	8	»	28000	12,6
Carton huilé noir.....	<i>a</i>	5320	2	0,3	17700	27
	<i>b</i>	5460	8	»	18200	28
	<i>c</i>	6170	3	»	20600	25
	<i>d</i>	4870	4	»	16200	15
Toile huilée....	<i>a</i>	4850	10	0,23	21000	11
	<i>b</i>	4390	7	»	17000	13
	<i>c</i>	4050	4	»	17500	12
	<i>d</i>	3440	2	»	15000	9
Papier excelsior.....	<i>a</i>	4150	13	0,12	35000	11
	<i>b</i>	6370	6	»	53000	8,5
	<i>c</i>	4950	6	»	41000	6,5
	<i>d</i>	5170	20	»	43000	5
Toile excelsior.	<i>a</i>	6700	18	0,25	27000	20
	<i>b</i>	>9000	3	»	>36000	1
	<i>c</i>	>9000	10	»	>36000	
	<i>d</i>	76000	12	»	30000	12,5
Soie excelsior.	<i>a</i>	900	20	0,10	9100	8,6
	<i>b</i>	2100	13	»	21000	6
	<i>c</i>	2320	17	»	23200	3,8
	<i>d</i>	4950	»	»	19500	2

La charge initiale, d'environ 6800 kg, était augmentée au taux de 225 g par seconde.

La durée d'application de la charge faisait varier la charge limite nécessaire à la perforation ; ainsi, pour le carton huilé, la charge moyenne de perforation étant de 13 kg, on a trouvé :

12,2 kg pour.....	3 s
11,8 kg »	7 s
11,3 kg »	23 s
10 kg »	30 s
9 kg »	1 m 55 s

» D'accord avec les indications de la pratique, ces Tableaux font ressortir nettement :

» 1° L'influence considérable du vernissage sur les propriétés isolantes;

» 2° L'avantage de la subdivision des isolants, les propriétés isolantes ne croissant pas directement avec l'épaisseur de ceux-ci, en raison de la difficulté d'obtenir des masses isolantes parfaitement homogènes en grandes épaisseurs;

» 3° L'influence favorable du séchage préalable des isolants; un étuvage avant emploi, à 75°-100° C., élève notablement la ténacité disruptive.

» Les écarts qu'on relève, dans le Tableau II, pour les tensions de rupture sur échantillons de même nature et de mêmes dimensions, donnent une idée de l'homogénéité des matériaux.

» 18. *Résistance d'isolement.* — La résistance d'isolement a fait aussi l'objet de discussions qui ont conduit la première Section à émettre cet avis que la résistance ohmique ne semble pas avoir de relation définie avec la tension de rupture que peuvent supporter les isolants.

» La même opinion se retrouve dans le Rapport du National Physical Laboratory.

» D'une façon générale, on peut dire que la valeur propre de la résistance d'isolement est sans relation directe avec la qualité de la machine; les clauses se rapportant à cette condition peuvent disparaître sans inconvénient des cahiers des charges.

» La résistance d'isolement peut cependant présenter quelque intérêt pour guider dans le traitement même des matières isolantes.

» Le Tableau III, relatif à un échantillon de pressspahn de 1,07 mm d'épaisseur, permet de suivre le mécanisme des variations de la résistance d'isolement en fonction de la durée du séchage et des facilités données à l'évaporation.

TABLEAU III.

Résistance d'isolement à froid.....	mégohm
	0,31
Après 1 minute à 100°.....	0,006
» 2 » »	0,010
» 3 » »	0,013
» 4 » »	0,016
» 5 » »	0,018
» 6 » »	0,021
En refroidissant la surface extérieure par de l'air froid après 23 minutes.....	1
Après 32 minutes	1200 Ω

» La résistance d'isolement baisse au début de la période d'échauffement par suite de l'évaporation superficielle d'abord lente, puis augmente quand l'évaporation, devenant plus active, pompe l'humidité des couches intérieures de l'isolant.

» L'effet du courant d'air froid, en activant l'évaporation et la faisant sentir plus profondément dans la matière, accuse l'accroissement de la résistance d'isolement.

» Les autres matières, d'après les comptes rendus du National Physical Laboratory, se comportent de façon analogue.

» 19. *Influence de la siccité.* — La siccité des matériaux à froid, lorsque ceux-ci sont traités dans un séchoir à acide sulfurique, augmente aussi la résistance d'isolement d'une façon remarquable; c'est ainsi, toujours dans les mêmes expériences, qu'ont été obtenus les résultats consignés dans le Tableau IV.

TABLEAU IV.

Surface des échantillons : 50 cm².

Matière.	Séchage à froid. Durée.	Résistance d'isolement en mégohms.
Pressspahn de 0,62 mm....	Avant séchage.....	1,07
	Après 18 heures.....	4100 à 7000
	» 49 heures.....	41000
Ruban huilé de 0,29 mm...	Avant séchage.....	75 à 84
	Après 2 heures 30 minutes.....	1700
	» 18 heures.....	48000

TABLEAU IV (suite).

Surface des échantillons : 50 cm².

Matière.	Séchage à froid. Durée.	Résistance d'isolement en mégohms.
Pressspahn de 1,07 mm....	Avant séchage à froid	0,42
	Le même à l'étuve à 100°	0,80
	» après 1 heure de séchage à froid.	1,3
	» étuvé à 100° et essayé à froid.	> 4
	» après 6 heures 30 minutes...	3,4
	» » 23 heures	510
	» » 76 heures	70 000
	» » 122 heures	200 000
Ruban huilé de 0,2 mm....	» » 12 jours	800 000
	A froid	50
	Chauffé 5 m à 100° et essayé à froid....	100 000
Pressspahn de 0,53 mm....	A froid	48
	Chauffé 10 m à 100° et essayé à froid...	250 000

» 20. *Influence de la tension sur les essais de disruption.* — La valeur de la tension et sa durée d'application influent sur la rigidité diélectrique.

» On observe corrélativement que la résistance d'isolement est souvent plus grande sous une tension d'épreuve de 200 volts que sous 1000 volts.

» Les essais des isolants employés dans la construction des machines montrent aussi qu'à partir d'une certaine tension des effluves se produisent de plus en plus abondamment; dès lors, le perçage est proche. Si l'on interrompt l'essai, on peut constater un échauffement sensible de la matière.

» En faisant varier la tension d'épreuve autour de cette valeur critique, on observe que la phase de production des effluves devient de plus en plus courte à mesure que la tension s'élève; la disruption se produit aussi d'autant plus rapidement.

» 21. *Propriétés absorbantes des isolants.* — A titre indicatif, nous citerons d'après le même recueil d'expériences qu'un échantillon de pressspahn de 1,07 mm d'épaisseur maintenu à 100° C. durant 1 heure perd 10 pour 100 de son poids d'eau ou 1,33 g : dm².

» Au bout de 3 jours d'exposition dans une enceinte fermée et à froid, le même regagnait 25 pour 100 environ du poids primitive-

ment perdu; enfin, après une semaine, $\frac{90}{100}$ de la perte totale étaient récupérés.

» Les mêmes faits sont observables, tout au moins comme ordre de grandeur, sur la plupart des isolants d'usage courant, ce qu'il suffit de retenir.

» 22. *Résultats d'essais des ateliers Crompton et C^{ie}.* — Ces essais corroborent ceux du Physical National Laboratory.

» Ils sont remarquables par leur durée de plusieurs mois à des températures de 75°, 100° et 125° C., les substances étant expérimentées dans l'état où elles sont employées dans la construction.

» Ces essais permirent de reconnaître qu'à 125° C. la généralité des matières traitées perdait toute solidité, la rigidité diélectrique n'étant cependant pas sensiblement affectée.

» La température de 125° doit, par suite, nous croyons devoir y insister, être considérée comme inadmissible pour les matières en question.

» On trouvera, pour celles-ci, dans le Tableau V, les rapports des charges produisant le poinçonnage à la température ordinaire à froid, puis après traitement à l'étuve à 125° C. pendant 5100 heures. C'est une caractéristique des modifications de la ténacité : F est la charge produisant le poinçonnage à froid; F' celle produisant le poinçonnage après traitement.

Matières.	$\frac{F}{F'}$	Matières.	$\frac{F}{F'}$
Presspahn 0,25 mm.....	$\frac{4}{1}$	Toile excelsior 0,19 mm.	$\frac{3,3}{1}$
» 0,6 mm.....	$\frac{2,5}{1}$	» » 0,24 mm.....	$\frac{2,3}{1}$
» verni 0,35 mm.....	$\frac{2}{1}$	Soie » 0,10 mm.....	$\frac{10}{1}$
Papier manille 0,3 mm.....	$\frac{5,5}{1}$	» » 0,135 mm.....	$\frac{1,6}{1}$
» verni 0,355 mm...	$\frac{1,2}{1}$	Papier » 0,125 mm.....	$\frac{2,3}{1}$
Carton waterproof 0,25 mm	$\frac{2,8}{1}$	Mousseline 0,23 mm.....	$\frac{3,7}{1}$
Toile micanite 0,23 mm	$\frac{1}{1}$	» vernie 0,4 mm.....	$\frac{4,3}{1}$
Papier micanite 0,125 mm.....	$\frac{1}{1}$	Ruban enduit 0,18 mm.....	$\frac{4,6}{1}$
Toile huilée universelle 0,2 mm...	$\frac{1,6}{1}$	» » verni 0,23 mm.....	$\frac{4}{1}$
Toile excelsior 0,15 mm.	$\frac{3}{4}$		

» 23. *Résultats d'essais observés dans les ateliers Siemens frères, à Woolwich.* — La durée du traitement a été poussée jusqu'à 12 mois aux températures de 75°, 100° et 125° C. maintenues régulièrement chaque jour durant 12 heures, avec vérification mensuelle de la rigidité diélectrique et de la ténacité au poinçonnage.

» On a ainsi fait varier les facteurs du temps et de la température.

» La conclusion de ces essais fut qu'une température prolongée de 75°C. affectait déjà plus ou moins certaines qualités de pressspahn et de calicot naturel huilé ou verni.

» A 100° C., la plupart des matières essayées montraient des signes d'altération très nets au bout de quelques mois.

» Enfin, à 125° C., la décoloration des échantillons et leur destruction se manifestaient en très peu de temps, sauf pour ceux à base d'amiante et certaines catégories du genre micanite.

» Toutes ces modifications ne touchaient, il convient de le rappeler, qu'à l'état mécanique des matériaux et non à leurs propriétés isolantes.

V. — RÉPARTITION DE L'ÉCHAUFFEMENT DANS LES ORGANES DES MACHINES USUELLES.

» 24. *Induits et collecteurs.* — Les températures peuvent être relevées, au thermomètre, en un grand nombre de points avec une approximation satisfaisante.

» D'autre part, sauf quand il s'agit d'armatures spéciales de grande longueur, difficiles à ventiler, la température est assez uniforme dans les divers éléments constitutifs de la machine.

» Par conséquent, si l'accès des pièces le permet, le relevé thermométrique suffit pour apprécier la température des points les plus chauds et déterminer une moyenne assez voisine du maximum.

» 25. *Inducteurs.* — Le problème est ici plus compliqué. Diverses influences interviennent : la position des bobines; leurs dimensions; celles du bobinage; le diamètre du fil; la nature et l'importance du « guipage »; le garnissage extérieur; la ventilation ou le mode d'évacuation de la chaleur.

» L'expérience a depuis longtemps montré que la température d'une bobine, siège d'un courant continu, varie dans la section droite du bobinage⁽¹⁾.

» Cette variation atteint facilement 15 pour 100 en passant de la partie inférieure à la partie supérieure de la bobine, la température maxima se présentant un peu au-dessus du centre de gravité de la section.

» Les écarts entre la température moyenne de la masse et la température superficielle peuvent aussi atteindre et même souvent dépasser 15 pour 100.

» 26. M. Boucherot, en étudiant la répartition des températures dans un solide siège d'une source de chaleur dont la transmission s'opérerait uniquement entre parois parallèles, est arrivé à une relation simple entre les températures maxima, moyenne et superficielle, exprimant que le rapport α de l'excès de la température maxima $\theta_{\max}$ sur la température moyenne θ_{moy} à celui de la température moyenne sur la température superficielle θ_{superf} est constant, c'est-à-dire qu'on a

$$\alpha = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\text{moy}}}{\theta_{\text{moy}} - \theta_{\text{superf}}}.$$

» Nous indiquerons ci-dessous les résultats auxquels est arrivé M. Boucherot dans quelques-uns des cas simples dont il a bien voulu nous donner communication.

» 1° *Cas d'un solide homogène limité par deux plans infinis en forme de mur de Fourier.*

Mode de transmission de la chaleur.	α .
Entièrement par une seule des parois.....	0,5
Par la paroi où l'on relève la température superficielle :	
0,9.....	0,43
0,8.....	0,37
0,7.....	0,33
0,6.....	0,35
0,5.....	0,5

(1) Voir ARNOLD, *La machine à courant continu, expériences de Neu Levine et Havill.*

» 2° *Cas d'un anneau cylindrique* (forme d'une bobine inductrice ordinaire) de longueur infinie ou très grande (voir fig. 4).

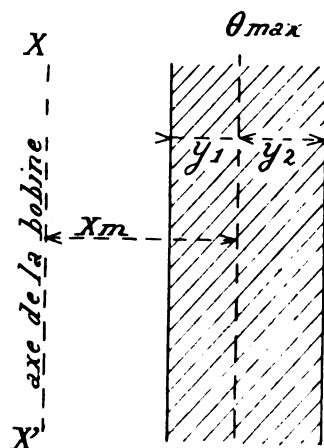


Fig. 4.

» a. Si la température maxima a son siège au milieu du paquet de fils,

$$\gamma_1 = \gamma_2.$$

Valeurs de x_m
(Rayon de la circonférence
sur laquelle se trouve $\theta_{\max}$).

a.

γ_1	0,333
$2\gamma_1$	0,54
$10\gamma_1$	0,52
∞	0,5 (cas du mur)

» b. Si $\gamma_2 = 2\gamma_1$,

$2\gamma_1$	0,24
$10\gamma_1$	0,34
∞	0,33 (cas du mur)

» c. Si $\gamma_2 = 10\gamma_1$,

$10\gamma_1$	0,24
$50\gamma_1$	0,42
∞	0,435 (cas du mur)

» 3° *Cas d'un cylindre plein ou d'un tore engendré par un cercle de rayon r très grand.*

» On trouve alors que

$$a = 1,$$

ce qui montre que l'influence du refroidissement par les extrémités de la bobine tend à augmenter avec α , mais que cette dernière quantité ne sera jamais supérieure à 1.

» Si l'on considère le premier cas envisagé, on voit qu'en tablant sur la moyenne des valeurs de α , on arrive à la formule simple

$$(1) \quad \vartheta_{\max} = \vartheta_{\text{moy}} + 0,4(\vartheta_{\text{moy}} - \vartheta_{\text{superf}}).$$

» Supposons que

$$\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}} = 20^{\circ}$$

et recherchons l'erreur commise en appliquant la formule (1) vis-à-vis des valeurs réelles de α .

» De (1) on tire

$$0,4(\vartheta_{\text{moy}} - \vartheta_{\text{superf}}) = \frac{0,4}{1,4}(\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}}) = 0,286(\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}}),$$

d'où

$$0,286.20 = 5^{\circ},72 \text{ C.}$$

» On forme ainsi le Tableau V ci-dessous :

TABLEAU V.

Émission de la chaleur.	Pour $\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}}$ $= 20^{\circ} \text{ C} = \text{A.}$			Écart entre la valeur réelle de $\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}}$ et les valeurs calculées.
	Valeurs de $\vartheta_{\text{moy}} - \vartheta_{\text{superf}}$ déduites des valeurs de α .	$0,4(\vartheta_{\text{moy}} - \vartheta_{\text{superf}})$ $= 0,286 \text{ A.}$	$\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}}$ calculée d'après (2).	
D'un seul côté.....	13,33	5,7	19,03	-0,97
0,9 par une face et 0,10 de l'autre.....	14,0	5,7	19,7	-0,3
0,8 par une face et 0,2 de l'autre.....	14,6	5,7	20,3	+0,3
0,7 par une face et 0,3 de l'autre.....	15	5,7	20,7	-0,7
0,6 par une face et 0,4 de l'autre.....	14,8	5,7	20,5	-0,5
0,5 par une face et 0,6 de l'autre.....	13,33	5,7	19,03	-0,97

» La règle de M. Boucherot donne ainsi la température maxima à moins d'un degré près, et, pour

$$\vartheta_{\max} - \vartheta_{\text{superf}} = 20^{\circ} \text{ C.},$$

l'écart entre la température maxima et la température moyenne est de l'ordre de 6° C.

» 27. *Essais du National Physical Laboratory.* — Il est intéressant de rapprocher les résultats de cette élégante théorie des expériences faites par le National Physical Laboratory en vue de déterminer la répartition des températures à l'intérieur des bobines inductrices.

» Ces essais ont porté sur vingt-neuf genres de bobines.

» Les températures étaient prises, dans la masse, au moyen de pinces thermo-électriques et à la surface des bobines à l'aide de thermomètres.

» La mesure des résistances a fait l'objet de soins particuliers, notamment celle à froid qui n'a été relevée qu'après égalisation aussi parfaite que possible de la température dans toute la masse.

» Sans entrer dans le détail des chiffres cités par le Rapport du National Physical Laboratory, nous avons résumé dans les Tableaux VI et VII les dimensions principales des bobines expérimentées et quelques indications concernant les conditions d'essai.

» On trouvera dans le Tableau VII les valeurs du rapport α défini par M. Boucherot et déduit des températures observées.

» Les écarts relevés entre les valeurs de α ainsi déduites et celles calculables s'expliquent, soit par les conditions spéciales à l'essai, soit probablement par quelque incertitude dans le relevé des températures superficielles. Notamment, sauf pour la bobine désignée n° 1, le point d'application du thermomètre dans la mesure θ n'est pas nettement défini; il est certain que des différences peuvent se manifester suivant le point d'application choisi pour le thermomètre et être très appréciables lorsqu'on veut en déduire α .

» Nous avons signalé, partout où cela nous a été possible, les circonstances qui ont pu influencer sur les modifications de la valeur α ; il est assez facile d'expliquer par là les anomalies apparentes qui peuvent se présenter.

» Quoi qu'il en soit, il est remarquable de constater :

» 1° Que les déductions des essais du National Physical Laboratory confirment, d'une manière générale, les coefficients de M. Boucherot;

» 2° Que, si l'on élimine les résultats correspondant à des valeurs anormales de α , les écarts entre la température maxima et la température moyenne déduite des résistances peuvent atteindre de 5°,8 à 36° avec une moyenne de 16°, chiffre très important à retenir et encore plus à vérifier.

» Ces essais mettent, en outre, en évidence l'influence du garnissage extérieur des enroulements : les écarts les plus grands entre $\theta_{\max}$ et θ_{moy} correspondent justement à des garnissages très épais.

TABLEAU VI.

Désignation des bobines essayées.	Hauteur de la bobine suivant l'axe en mm.	Dimensions intérieures en millimètres.	Constitution du bobinago.		Observations.
			Nombre de spires.	Section des conduc- teurs en mm ² .	
Moteur shunt 6 pôles, 26,5 kw, 850 t : m	115	115 × 195	12 5000	0,81	Enroulement sur forme provisoire. Finissage avec ruban et autres ma- tières isolantes.
			13 4500	0,98	
			14 1300	2,62	
			15		
Moteur shunt 6 pôles, 75 kw, 305 à 550 t : m	175	Cylindre diam. 250	2584	2,84	Enroulement imprégné et recouvert de deux couches de ruban.
Moteur shunt 6 pôles, 75 kw, 600 t : m	125	125 × 240	2488	1,17 et 1,37 combines	Enroulement sur carcasse métal- lique, bobine très plate. Vernissage extérieur. Enroulement série à la partie infé- rieure de la bobine.
Moteur compound 6 pôles, 82,5 kw, 265 à 360 t : m	212	Cylindre diam. 212	3000	1,17	Garnissage commun aux deux en- roulements, de trois couches de toile vernie et quatre épaisseurs de toile à voile. Le garnissage contient une plaque- support en laiton.
Génératrice shunt 6 pôles, 147 kw, 180 t : m	212	480 × 290	1210	9,1	Enroulement sur forme en bronze; extérieur verni. Intervalle d'air notable entre la forme et le bobinage sur les longs côtés.
Génératrice shunt 6 pôles, 200 kw, 350 t : m	175	365 × 245	1292	12,9	Enroulement sur forme en fonte; extérieur verni.
Moteur compound 6 pôles, 200 kw, 108 t : m	262	400 × 275	1224	5,3	Enroulement sur forme métallique. Enroulement série concentrique et extérieur à l'enroulement shunt.
Génératrice shunt 6 pôles, 500 kw, 320 t : m	330	310 × 300	1400	6,6	Bobinage recouvert de papier, toile et leatheroid, de 3 ^{mm} d'épaisseur et de 3 ^{mm} de corde, le tout verni.
Génératrice shunt 6 pôles, 500 kw, 200 t : m	270	310 × 350	550	21	Enroulement sur forme métallique, avec joues protectrices. Garnissage extérieur en toile, car- ton et corde.

DESIGNATION des bobines.	RÉSISTANCE à froid en ohms.	RÉSISTANCE à chaud en ohms.	INTENSITÉ en ampères durant l'essai.	RÉGIME de la machine ou situation de la bobine durant l'essai.	PUISSANCE dissipée en watts.	TEMPÉRATURE de l'air en degrés centigrades.	TEMPÉRATURE 0. prise sur l'enroulement en degrés centigrades.
1x.....	79,5	109,4	1	au repos	110	0	53
1β.....	61,6	85,5	1,39	à vide	142	13	50,1
1γ.....	6,43	9,25	3,72	à 850 t : m			
1γ.....	»	8,91	3,47	au repos	108	18	51,5
1γ.....	»	8,51	3,16	Id.	107	18	50,3
1γ.....	»	8,33	2,90	Id.	86	17	50
1γ.....	»	8,56	3,66	Id.	70,4	16	50,1
1γ.....	»			au repos sans noyau	115	13,6	50
1δ.....	6,35	8	3,66	Id.	107	13,6	50
2.....	15,31	22,2	4,3	en charge à 325 t : m	407	21	50
	»	21,6	»	à vide à 310 t : m	400	21	50
	»	22,15	3,32	au repos avec noyau	244	15	51
3.....	31,5	41	2	en charge	164	21	51
	»	41,2	1,68	à 600 t : m			
				au repos	115	12	49
4.....	35,2	52,2	1,52	avec noyau			
			variable	en charge	120	27	60
				265 à 360 t : m			
	»	49,2	1,54	Id.	120	30	50
	»	50,7	1,72	au repos sans noyau	150	19	50
5.....	3,81	4,78	9,2	charge variable	400	19	50
	2,70	3,21	7,07	180 t : m			
				charge variable	161	14	51
6.....	»	3,28	7,09	340 t : m			
	»	3,77	11,12	au repos sur la machine	165	20	50
				au repos sans noyau	467	23	64
7.....	6,70	8,95	5,2	en recharge à 108 t : m	238	12	47
			»				
	»	8,48	Id.	au repos avec noyau	230	12	50
	»	9,7	6,54	Id.	415	15	64
8.....	4,98	6,82	8,2	en charge	458	26	50
	»	8,10	11,1	à 320 t : m			
	»	7,41	8,12	Id.	995	26	57
	»			au repos avec noyau	488	12	54
	»	7,25	7,6	Id.	420	19	51
9.....	0,688	0,874	19	à vide	315	20	51
	»	0,818	Id.	à 200 t : m			
				Id.	295	18,5	50

TEMPÉRATURE max. interne, $\theta_{\max}$.	TEMPÉRATURE moyenne, θ_{moy} .	$\theta_{\max} - \theta_{\text{moy}}$.	θ_s .	$\frac{\theta_{\max} - \theta_{\text{moy}}}{\theta_s} = \alpha$.	
105,3	88	17,3	35	0,49	
106	90,5	15,5	40	0,39	
115	101,6	13,4	27,1	0,49	
102,2	89,5	12,7	22,2	0,57	
85,8	78,5	7,3	21,5	0,34	
74,3	68,5	5,8	18,1	0,32	
93,6	77,2	16,4	20,2	0,81	Le noyau étant enlevé, α se rapproche de 1.
68,5	60,5	8	10,5	0,70	Id.
126,5	105	21,5	50	0,43	
116	96	20	43	0,46	
121,4	104,2	17,2	23,2	0,74	La machine est à l'arrêt, l'induit ne ventile pas comme ci-dessus.
93,8	70,3	23,5	26,3	0,89	Résultats douteux en raison du mode de construction.
92,6	71,8	20,8	22,8	0,91	
110,3	107	3,3	0,38	0,09	Bobine recouverte de trois couches de toile vernie et de quatre épaisseurs de toile à voile. En outre, le garnissage enferme une plaque terminale en bronze et un enroulement série.
96,8	92,7	4,1	17,7	0,23	La garniture est supprimée ainsi que la plaque de laiton.
106,8	103	3,8	44	0,09	L'enroulement série n'est pas actif.
67	59,5	7,5	18,5	0,40	Essai fait en service courant d'usine avec charge variable de 300 à 600 amperes.
46,4	44	2,4	13	0,18	
52,3	50,2	2,1	9,2	0,23	Valeurs de α faibles, pouvant provenir de la forte épaisseur de la forme.
100,5	92,5	8	28,5	0,28	Le point d'application du thermomètre pour θ_s n'est pas précisé.
88,1	78,5	9,6	31,5	0,30	Le refroidissement produit par la ventilation de l'armature était plus que compensé par l'échauffement dû à l'enroulement en série; espace d'air notable entre la bobine et le noyau.
					(¹) Température prise sur l'enroulement en série placé à l'extérieur de l'enroulement shunt sans indication précise de la position du thermomètre.
78,4	62	16,4	21	0,78	Fil série sans courant.
106,2	104,5	21,7	40,5	0,54	Id.
191	86	16	55	0,29	
180	144	36	87	0,41	
135,4	113	22,4	59	0,38	
131,6	106,3	25,3	55,3	0,45	
65,4	63,2	2,2	18,2	0,12	Emplacement non précisé pour le relevé de θ_s .
43,7	44	1,7	4	0,42	Le bobinage est divisé en deux enroulements concentriques séparés par un intervalle d'air de 12 mm environ.

VI. — TEMPÉRATURES LIMITES ADMISSIBLES.

» 28. Se basant sur les considérations exposées précédemment et qui se trouvent confirmées par les expériences de l'Engineering Standards Committee, la première Section du Comité formula, en 1905, une série de conclusions que nous allons rapporter :

» *a. Métaux.* — Les métaux et, en particulier, les tôles peuvent certainement supporter une température très élevée sans aucun inconvénient, sauf répercussion sur l'état des isolants adjacents.

» La carbonisation de l'isolant interposé entre les tôles limite seule la température de celles-ci. Cette carbonisation serait cependant sans inconvénient sérieux, vu la faible conductibilité de la matière carbonisée.

» On peut dire que la température propre aux tôles est pratiquement indifférente.

» *b. Conducteurs.* — La même observation s'applique aux conducteurs eux-mêmes. Toutefois, en admettant ici l'emploi d'isolants capables de résister à haute température, conviendrait-il de tenir compte de la limite d'échauffement imposée par la conservation des soudures avec les isolants usuels.

» La température des conducteurs est limitée par celle que peuvent admettre les premiers.

» *c. Isolants des rainures, encoches, bobines inductrices.* — Lorsque les conducteurs sont isolés au coton, l'emploi de papier, carton, pressspahn, etc., est admissible sous réserve d'appeler l'attention des constructeurs sur les produits employés, afin que la destruction de ceux-ci sous l'influence de la chaleur ne se produise pas pour une température inférieure à celle provoquant la destruction du coton ou que, pour une même température, leur destruction soit moins rapide que celle du coton, ce dernier produit servant de base à la fixation de la température admissible.

» 29. *Fixation des températures limites.* — Les températures auxquelles peuvent être portés sans danger le collecteur et les tôles d'induit sont sans aucun doute supérieures à celle à laquelle peut

être porté un enroulement. Il semble donc raisonnable de fixer, comme température limite, celle que peut supporter le coton des enroulements.

» De la discussion et des expériences qui viennent d'être rapportées il résulte, comme l'indiquait la première Section, *que la température de 100° C. est une bonne limite pour un fonctionnement continu et indéfini. Il semble bien, en effet, que le coton puisse rester très longtemps à cette température sans subir de modification sensible, mais on n'en saurait dire autant pour une température plus élevée : pour 110° ou 120°, par exemple.*

» La première Section a conseillé en 1905 de s'arrêter à ce chiffre.

» *Mais c'est là, s'exprimait-elle, la température réelle à laquelle il faut se limiter, car il y a lieu de tenir compte de ce que les mesures de température effectuées par un procédé quelconque ne donnent pas la température exacte du coton des enroulements pendant une marche continue, indéfinie, en égard aux remarques suivantes :*

» 1° Les températures atteintes dans un essai, même relativement long, diffèrent encore de quelques centièmes des températures définitives, ceci indépendamment de l'abaissement des températures pendant les mesures.

» 2° Dans le cas d'une bobine inductrice, même quand la température est déduite de l'augmentation de résistance ohmique, le résultat trouvé (température moyenne) est inférieur de quelques degrés à la température maxima; la différence peut atteindre, dans certains cas de la pratique, 7° à 8° et peut-être plus.

» 3° Indépendamment de cette cause d'erreur, le coefficient de température peut être différent de celui admis pour le calcul, d'où une autre erreur pouvant s'ajouter à la première.

» 4° Dans le cas d'un induit (1), la température des fils noyés dans des encoches peut être également supérieure de quelques degrés à celle qu'il est possible de mesurer, avec un thermomètre

(1) En admettant que le rayonnement cesse après l'essai ou que la température s'égalise dans toutes les parties d'un cylindre de fer, la température relevée au thermomètre donne une appréciation à maxima.

Les chiffres obtenus dépendent du rayonnement en marche et de la profondeur à

ou autrement, soit sur les fils à la sortie des encoches, soit sur la denture. Il est facile de se rendre compte que l'effet Joule suffit à produire ces quelques degrés d'écart dans les cas ordinaires de la pratique.

» 5° Lorsque la température ambiante de la salle d'essais est différente de celle où sera placée la machine en service, il y a lieu de corriger l'échauffement admis d'une certaine quantité; mais cette correction est entachée d'incertitude et il y a encore là une petite cause d'erreur.

» LA TEMPÉRATURE DE 100° FIXÉE COMME LIMITE ABSOLUE NE DOIT DONC PAS ÊTRE ATTEINTE DANS LES MESURES, SI L'ON VEUT QU'ELLE NE SOIT NOTABLEMENT DÉPASSÉE EN FAIT.

» Pour ces motifs, la Commission a estimé que les TEMPÉRATURES RELEVÉES, comme il sera dit tout à l'heure, ne DOIVENT PAS DÉPASSER 90°C. pour que la machine soit acceptée sans réserve à l'égard de l'échauffement. Entre 90° et 95°, il y aurait lieu à pénalité (1); au-dessus de 95° la machine serait refusée sans recours.

» Ces chiffres supposent évidemment que la température ambiante de la salle d'essais à la fin de l'expérience est exactement celle de la salle dans laquelle la machine est destinée à fonctionner à bord. En général, il n'en sera pas ainsi, et l'on sera conduit à vérifier l'échauffement dans une ambiance à température plus basse et à appliquer un coefficient de réduction à l'échauffement limite spécifié ci-dessus.

» 30. *Limite de température des induits.* — La première Section a été d'avis d'adopter, par prudence, la même limite de température pour les induits avec conducteurs isolés en coton que pour les inducteurs.

laquelle se trouve la température maxima. On peut avoir ainsi, d'après M. Boucherot :

Pour 20 watts : dm ²	1° C. d'écart
Pour 30 watts : dm ²	1°5 C. d'écart

La différence entre la température maxima au point d'application du thermomètre et la température d'équilibre ne doit probablement pas excéder 2°C. pour un cylindre de fer; cet écart est donc négligeable.

(1) La première Section fixait à 1 pour 100 du prix de la machine la pénalité par degré au-dessus de 90°.

» En fait, le procédé thermométrique, seul appliqué pratiquement aux induits, permet, par des relevés suffisamment nombreux, par la commodité relative d'accès aux diverses parties des enroulements et du fer, de déterminer une température moyenne très voisine, à 1° ou 2° C. près, de la température maxima réelle (1).

» On pourrait donc tolérer, en principe, une température limite supérieure à celle fixée par les inducteurs.

» La première Section n'a pas cru cependant devoir entrer dans cette vue, pour ce motif que les isolants des induits sont soumis à des actions mécaniques qui, très vraisemblablement, doivent affecter la solidité des isolants.

» Il a paru préférable, pour les organes mobiles que sont les induits, de réserver en quelque sorte une marge de sécurité plus grande et d'adopter, par suite, la même limite que pour les inducteurs.

» 31. *Collecteurs.* — La température limite en est fixée plutôt par des considérations d'ordre mécanique que par celles relatives aux isolants.

» L'emploi presque exclusif du mica et de la micanite permettrait, en effet, des températures très élevées.

» La conservation des soudures, généralement faites avec des compositions étain-plomb, fixe l'échauffement maximum vers 150° environ pour éviter d'en affecter la solidité; l'usage de brasure au cuivre ou à l'argent permettrait évidemment d'aller au delà, s'il n'y avait à tenir compte des phénomènes de dilatation.

» Au fond, la température limite pour les collecteurs dépend essentiellement des dimensions de ceux-ci et de la vitesse à laquelle ils sont soumis. La combinaison de la force centrifuge et des dilatations doivent, avant tout, ne pas produire de déformations sensibles.

(1) Des réserves seraient à faire :

1° Dans le cas d'encoches très profondes, la température maxima au fond des encoches pouvant être alors de plusieurs degrés supérieure à celle à la surface;

2° Dans le cas d'armatures de très grande longueur (turbo-générateurs), les écarts entre $\theta_{\max}$ et θ_{supert} pouvant être très importants, vu les conditions particulières dans lesquelles s'opère, avec ces machines, la transmission de la chaleur.

» A un autre point de vue, la température ne doit pas altérer l'état des frotteurs.

» En tout état de cause, avec des collecteurs bien frottés et bien construits, on pourrait admettre, à notre avis, une température sensiblement supérieure à celles de la pratique actuelle, *en tant que la commutation n'en serait pas troublée*; NOUS PROPOSERIONS DE FIXER LA LIMITE NORMALE A 115° C.

VII. — CAS DU FONCTIONNEMENT EN SURCHARGE.

» 32. La surcharge n'intéresse directement que l'induit, en général.

» Peut-on adopter sans danger, pour un essai temporaire en surcharge de 30 pour 100, par exemple, une température plus élevée que celle fixée pour le régime permanent ?

» La machine, n'étant soumise que momentanément à la surcharge, peut revenir entre temps à sa température normale ; les isolants peuvent ainsi retrouver l'élasticité indispensable à leur conservation (il ne peut être question, électriquement parlant, d'absorber à nouveau de l'humidité). A cet égard, une surcharge accidentelle serait tolérable en principe.

» Mais une surcharge de 30 pour 100 correspond à une perte supplémentaire par effet Joule de 70 pour 100, d'où un échauffement supplémentaire de 10° ou 15° C.

• » Il ne faut pas non plus que la répétition fréquente des surcharges nuise à la conservation générale.

» Il convient donc, en surcharge, de ne pas dépasser 110° C. pour les enroulements, ce qui correspond aussi au maintien en bon état des soudures.

• » La première Section a formulé à ce sujet l'avis ci-après :

» POUR LES GÉNÉRATRICES DEVANT SUPPORTER MOMENTANÉMENT UNE SURCHARGE DE $\frac{1}{3}$, ÉTANT ENTENDU QUE CETTE SURCHARGE NE SERA APPLIQUÉE QUE RAREMENT, la Commission estime qu'ON PEUT ADMETTRE UN RELÈVEMENT DE LA TEMPÉRATURE LIMITE DE 15° , CE QUI PORTERAIT LES TEMPÉRATURES LIMITES A LA FIN DES ESSAIS EN SURCHARGE A 105° SANS PÉNALITÉ ET AU DELA DE 110° POUR LE REFUS. »

» Ceci suppose que l'essai en surcharge est immédiatement consécutif à l'essai en charge avec intervalle de 2 minutes, par exemple, pour les relevés.

VIII. — INFLUENCE DU MODE DE CONSTRUCTION SUR LA VARIATION DE LA TEMPÉRATURE EN FONCTION DE LA DURÉE DE MARCHÉ.

» 33. Quelle est la loi de variation de la température en fonction du temps pour des moteurs de diverses puissances, suivant qu'ils sont étanches ou ouverts et suivant qu'on fait usage ou non de ventilation ?

» Il n'est malheureusement pas possible de donner des indications précises en réponse à cette question, que la pratique seule permet de résoudre par des comparaisons directes.

» L'analyse indique seulement que pour des corps semblables, ayant même chaleur volumique, même dissipation superficielle et même température d'équilibre, le temps nécessaire pour arriver à une même fraction de cette température d'équilibre est proportionnel aux dimensions linéaires ou à la racine cubique du volume. En ce qui concerne les dynamos, ceci ne peut être qu'une simple indication générale; l'échauffement, même d'un seul organe d'une dynamo, ne peut probablement pas être représenté exactement par une exponentielle; peut-être même ne peut-il l'être par plusieurs exponentielles superposées, car la dissipation superficielle est fonction de la température, non seulement de cet organe, mais des organes voisins (Observation présentée par M. Boucherot, en 1905).

IX. — MOYENS DE RÉDUIRE LA DURÉE D'ESSAI.

» 34. De quel coefficient faut-il affecter l'intensité d'un moteur (ou d'une génératrice) pour qu'il ait atteint en 4 heures sa température de régime ?

» Évidemment on peut accélérer l'échauffement d'une machine électrique en la surchargeant en volts et en ampères, mais l'accélération ne porte pas également sur tous les organes. D'autre part, certaines machines ne laissant pas à désirer sous le rapport de la commutation à la charge normale peuvent donner des étincelles à une

charge peu supérieure, mais non prévue lors de la construction. Il ne semble donc pas qu'une méthode de surcharge pour accélérer l'échauffement puisse être recommandée d'une façon générale ; à plus forte raison ne peut-il être question de coefficients.

» Un autre moyen, qui consiste à réduire le refroidissement de la machine en la faisant fonctionner à charge normale à l'intérieur d'une caisse empêchant le renouvellement de l'air, semble plus recommandable. Mais il est rarement besoin, en règle, d'employer des artifices pour accélérer l'échauffement. L'expérience montre que des machines de 100 à 120 kilowatts arrivent assez près de leur température définitive en 8 heures de marche sans aucun artifice ; il n'est pas possible, au delà, de formuler des règles absolues qui pourraient donner lieu à des contestations au sujet de la température atteinte.

X. — MODE OPÉRATOIRE POUR RELEVÉ DE LA TEMPÉRATURE.

» 35. *Induits.* — La méthode thermométrique étant seule applicable, il n'y a pas lieu de faire de détermination avant l'essai.

» La première Section a préconisé, afin d'obtenir une moyenne supérieure aussi exacte que possible, d'opérer comme il suit :

» *A l'arrêt, trois thermomètres seront appliqués immédiatement :*

» *1 et 2 sur les fils de l'enroulement à leur sortie des encoches, aussi près que possible du fer, sans le toucher (1 du côté du collecteur, 2 du côté opposé au collecteur pour avoir la température du cuivre la plus approchée possible) ;*

» *3. sur la denture du fer induit aussi près que possible du milieu (température du fer).*

» On évitera de poser les thermomètres sur des cerclages, et l'on en recouvrira entièrement les réservoirs d'ouate ou de déchets de chiffons bien secs, sans exagérer ce recouvrement, c'est-à-dire en ne couvrant pas plus de 10 à 15 cm² de surface.

» *Les températures seront lues après 5 minutes d'application ; et l'on admettra, comme chiffre de température, la moyenne entre la plus élevée des indications des thermomètres 1 et 2 et l'indication du thermomètre 3.*

» Les thermomètres employés ne devront pas contenir plus de 1 cm³ de mercure.

» *Pour tenir compte des erreurs possibles de ces appareils, le constructeur aura la faculté de retrancher 2° de cette moyenne.*

» A part le procédé par thermomètre à mercure qui est le plus usuel, il convient d'appeler l'attention sur l'emploi des pinces thermo-électriques dont l'application facile permettrait d'accéder plus commodément aux diverses parties de l'induit et de multiplier en un temps très court les relevés avec moins d'incertitudes que le thermomètre.

» 36. *Inducteurs.* — La méthode thermométrique est aujourd'hui universellement abandonnée pour les circuits dérivés.

» En raison de la variation de la température dans la masse des bobinages, ce procédé ne pourrait, comme on l'a vu, donner que des indications sans valeur.

» Toutefois, les indications thermométriques sont acceptables lorsque les inducteurs sont exécutés avec du cuivre enroulé sur champ sous forme d'une hélice dont toutes les spires présentent une de leurs surfaces en contact direct avec l'air, et accessibles au thermomètre ; à plus forte raison, dans le cas de cuivre présentant une surface unie au contact de l'air.

» Le thermomètre est encore seul applicable à la détermination de l'échauffement des enroulements en série lorsque la résistance de ceux-ci est trop faible pour être mesurée exactement.

» En dehors de ces cas, l'échauffement doit toujours être déterminé par comparaison des résistances.

» La formule donnant l'échauffement s'établit simplement en ramenant toutes les résistances à zéro.

» En appelant :

θ_0 la température ambiante, lors de la mesure de la résistance à froid, R_0 , au début de l'essai ;

θ_f la température ambiante à la fin de l'essai lorsque la résistance a pris la valeur $R_{\theta_f+\theta}$;

R_0 la résistance à 0° C. ;

θ l'échauffement au-dessus de la température ambiante ;
 α le coefficient de température du cuivre,

on a les relations

$$R_{\theta_0} = R_0 (1 + \alpha \theta_0),$$

$$R_{\theta_f + \theta} = R_0 [1 + \alpha (\theta_f + \theta)],$$

d'où, en posant

$$k = \frac{R_{\theta_f + \theta}}{R_{\theta_0}},$$

$$\theta = \frac{R_{\theta_f + \theta}}{R_{\theta_0}} \left(\frac{1 + \alpha \theta_0}{\alpha} \right) - \left(\frac{1 + \alpha \theta_f}{\alpha} \right) = k \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right) - \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_f \right).$$

» Si $\theta_0 = \theta_f$, il vient

$$\theta = (k - 1) \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right).$$

» 37. *Relevés à effectuer. Inducteurs en dérivation.* — Avant l'essai de durée, ou à son début, on relèvera :

- » 1° La température au thermomètre des bobines inductrices ;
- » 2° La température au thermomètre du milieu ambiant ;
- » 3° La résistance des bobines inductrices.

» La détermination des deux températures ci-dessus, alors que, *a priori*, celle des inducteurs suffirait, a pour but de s'assurer que la température relevée sur les bobines est bien la température moyenne de ces bobines. En effet, si, par suite d'un fonctionnement antérieur de la machine, la température des bobines était sensiblement différente de celle ambiante, tous les résultats ultérieurs seraient faussés. Pour que l'essai puisse être fait dans des conditions normales d'exactitude, il faut que la température des bobines n'excède pas de plus de 5° celle de l'ambiante.

» Il est à remarquer que l'ascension de la température peut être suivie pas à pas à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre pendant toute la durée de l'essai ; cela permet d'arrêter celui-ci en temps voulu, l'induit atteignant, en général, sa température avant l'inducteur.

» *Inducteurs compounds.* — Si le gros fil est au dessous du fil fin et inaccessible, on se contentera d'une mesure sur le fil fin comme s'il s'agissait d'une machine en dérivation simple.

» Si le gros fil est accessible, les mesures sur le fil fin, faites

comme précédemment, seront complétées par une mesure au thermomètre de la température du gros fil, avec les précautions stipulées plus loin pour les induits.

XI. — CORRECTIONS ET CAUSES D'ERREUR.

» 38. La formule de l'échauffement conduit à quelques remarques importantes pour l'emploi correct de la méthode ; quelques précautions indispensables en découlent immédiatement.

» 39. *Influence du coefficient de température.* — Le coefficient de température admis généralement en France a pour valeur

$$\alpha = 0,004 \quad \text{par degré centigrade.}$$

» La Verbandes deutscher Electrotechniker (Allemagne) admet la même valeur, sauf vérification, ou indication contraire dans les contrats.

» Certains expérimentateurs et, à leur suite, les associations techniques d'Angleterre et des États-Unis indiquent $\alpha = 0,0042$. L'influence de cet écart de 5 pour 100 n'est nullement négligeable.

» Si l'on admet

$$\theta_0 = \theta_f = 30^\circ \text{ C.,}$$

l'expression de l'échauffement devient, suivant le cas,

$$\theta = (k - 1) \left(\frac{1}{0,004} + 30 \right) = (k - 1) 280$$

ou

$$\theta' = (k - 1) \left(\frac{1}{0,0042} + 30 \right) = (k - 1) 268,$$

d'où

$$\frac{\theta}{\theta'} = \frac{280}{268} = 1,044,$$

soit une différence relative à peu près de même ordre qu'entre les valeurs relatives de α .

» Si la tolérance accordée sur les relevés est de 5 pour 100, l'incertitude sur α peut entraîner une erreur atteignant ou dépassant la limite tolérée.

» *Il apparaît bien nécessaire, par suite, de ne pas attribuer à α une*

valeur arbitraire, mais d'en faire la détermination exacte toutes les fois, au moins, que des contestations pourraient s'élever.

» Autrement dit, la valeur $\alpha = 0,004$ ne doit figurer dans les contrats que sous bénéfice d'inventaire et non comme une valeur impérative.

» 40. *Variation de la température ambiante durant l'essai.* — Il ne suffit pas, pour obtenir un résultat exact, de ramener les résistances à 0°C .

» Il faut, en outre, que les *variations de la température ambiante* durant l'essai ne soient pas trop considérables. S'il en était différemment, le régime moyen d'échauffement des inducteurs pourrait être influencé.

» Il convient, pour des machines de dimensions courantes, de relever avec soin la température ambiante durant la dernière heure ou le dernier quart en temps d'essai et de s'assurer que cette température ne varie pas de plus de 5°C . Au delà une correction difficile à préciser et dépendant des dimensions de la machine et du mode de refroidissement des enroulements devrait intervenir.

» 41. *Température initiale du circuit.* — Celle-ci doit différer aussi peu que possible de la température ambiante.

» Soient, en effet, θ_0 la température initiale ambiante, θ'_0 la température initiale réelle des bobines.

» Les échauffements θ et θ' déduits de ces valeurs, toutes choses égales d'ailleurs, seraient

$$\theta = k \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right) - \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_f \right),$$

$$\theta' = k \left(\frac{1}{\alpha} + \theta'_0 \right) - \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_f \right);$$

d'où

$$\theta' - \theta = k(\theta'_0 - \theta_0).$$

Si

$$\theta'_0 = 25^{\circ}\text{C.}, \quad \theta_0 = 20^{\circ}\text{C.}$$

et avec $k = 1, 2$, ce qui est normal, il vient

$$\theta' - \theta = 1, 2(25 - 20) = 6^{\circ}\text{C.}$$

» Admettons que la limite d'échauffement ait été fixée à 40° C. au-dessus de la température ambiante ; un écart de 5° C. dans l'attribution de la température initiale entraînerait ici une différence de 6° C. dans la valeur absolue de l'échauffement, soit 15 pour 100 de l'échauffement limite, ce qui est inadmissible.

» Il est donc tout à fait juste de spécifier que la température initiale de la bobine ne doit pas excéder de plus de 5° C. la température ambiante. Il serait bon d'ajouter que la température de la masse de la machine ne doit pas présenter une différence supérieure, afin d'avoir toute assurance possible que la masse de la bobine elle-même est bien à une température uniforme.

» La vérification de la température initiale étant des plus essentielles, les machines même complètement enfermées doivent être disposées (1) pour permettre l'application d'appareils appropriés à la mesure des températures (thermomètres ou couples thermo-électriques étalonnés).

» 42. *Mesure initiale de la résistance R_0 .* — Les praticiens savent que la mesure initiale de la résistance d'un circuit inducteur par perte de charge est délicate. L'application d'un courant, même faible, élève de suite la température ; l'état variable du courant peut provoquer aussi une certaine indécision dans la lecture au début de l'opération.

» La répétition des lectures n'est guère recommandable sous peine de modifier la vraie valeur de la résistance initiale par un commencement d'échauffement.

» Il est d'abord nécessaire d'opérer avec une intensité assez faible pour ne pas échauffer sensiblement l'enroulement, puis de donner le temps au courant de prendre une valeur stable.

» On contrôlera avantageusement la résistance par une mesure préalable au pont.

» Il n'y a pas là de difficultés sérieuses.

» 43. *Appréciation inexacte de la température ambiante finale θ_f .*

(1) A l'aide de trappes ou tampons de visite appropriés.

— On aura, toutes autres choses égales,

$$\theta = k \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right) - \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_f \right),$$

$$\theta' = k \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right) - \left(\frac{1}{\alpha} + \theta'_f \right),$$

d'où

$$\theta' - \theta = \theta_f - \theta'_f.$$

» L'erreur commise dans l'évaluation de l'échauffement sera la même en valeur absolue, mais de signe contraire, que celle faite sur l'appréciation de la température ambiante : une erreur par excès sur θ_f entraînera une erreur par défaut sur θ et réciproquement.

» Ordinairement θ_f est de l'ordre de 20° à 30° et θ de l'ordre de 40° à 60° ; l'erreur possible n'est guère que de 2° à 3° au maximum sur θ_f , soit 10 pour 100, soit 5 pour 100 au maximum sur θ . C'est encore assez appréciable pour ne pas faire négliger tout soin dans l'observation de θ_f qu'on est d'accord pour relever à 1 m de distance de la machine à hauteur de l'axe ou à l'abri de tout remous d'air anormal.

» 44. *Appréciation des rapports des résistances.* — Supposons, pour simplifier,

$$\theta_0 = \theta_f,$$

et soit

$$k = \frac{R_{\theta_0 + \theta_f}}{R_{\theta_0}} \quad \text{avec} \quad \theta = (k - 1) \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right),$$

$$k' = \frac{R'_{\theta_0 + \theta'_f}}{R'_{\theta_0}} \quad \text{avec} \quad \theta' = (k' - 1) \left(\frac{1}{\alpha} + \theta_0 \right).$$

» Les rapports des échauffements ainsi calculés sont

$$\frac{\theta'}{\theta} = \frac{k' - 1}{k - 1},$$

relation qui met en évidence la nécessité d'une grande exactitude dans l'évaluation de k .

» Nous touchons ici au point le plus délicat de la méthode, cependant très intéressante puisqu'elle permet de suivre la variation au moyen de simples appareils de mesure.

» Il est facile de voir qu'une erreur de 5 pour 100 sur la valeur

de k entraîne une variation supérieure à 30 pour 100 sur la valeur calculée de θ , lorsque k est voisin de 1,17, ce qui est normal.

» Si l'échauffement θ permis est égal à 45° C., la différence par excès peut atteindre 10° à 12° C., alors que la tolérance pénalisable est inférieure à 5° C.

» On risquerait ainsi, soit de rebuter haut la main une machine dont le seul défaut serait imputable aux expérimentateurs, soit de considérer indûment comme admissible une machine très défectueuse.

» Nous nous empressons d'indiquer qu'une erreur de 5 pour 100 sur la valeur de k est bien difficile à commettre ; ce chiffre n'a été choisi que pour mieux frapper l'idée. Il n'en reste pas moins acquis que l'écart peut atteindre l'ordre de la quatrième puissance de l'erreur commise sur le rapport des résistances, si toutes les irrégularités sont cumulatives.

» 45. *Méthode de la perte de charge.* — Nous tirerons de ce qui vient d'être dit la conclusion ci-après :

» *Si les résistances sont déterminées par quotient de la différence de potentiel et du courant, il est indispensable que les appareils permettent d'apprécier ces quantités au moins à 0,5 pour 100 près.*

» Les appareils voltmètres et ampèremètres seront donc choisis avec soin du type dit *de précision*.

» On proscrira tout appareil non apériodique ou non amorti comme tout autre, tels les appareils thermiques, dont les indications seraient fonction de la durée de passage du courant.

» Les appareils devront, en outre, être très sensibles et l'amplitude totale de la graduation devra être de l'ordre de grandeur de la quantité à mesurer, de façon à ne jamais lire dans le bas de l'échelle ; pour le même motif, les déviations seront, autant que possible, proportionnelles aux courants traversant les appareils.

» La graduation devra permettre d'apprécier facilement le centième de la grandeur à déterminer dans toute la plage des mesures intervenant dans l'essai.

» Les appareils seront enfin munis de dispositifs évitant les erreurs de parallaxe ou collimation.

» En vue d'éliminer toute cause d'erreur, les appareils devront être comparés avant et après l'essai avec des appareils étalons.

» Moyennant ces précautions et en ayant soin de se servir toujours de la même série d'appareils lorsqu'un programme d'essais déterminés sera exécutable en plusieurs reprises, la manipulation donnera des résultats pratiquement parfaits, sans réelle sujétion.

» 46. *Méthode du pont de Wheatstone.* — Ce procédé est également très pratique moyennant quelques précautions suggérées à la première Section par M. Pellat, président de la Société.

» Il est à remarquer que la méthode du pont est restée souvent peu goûtée des constructeurs jusqu'ici en raison de la lenteur des manipulations et de quelques craintes relatives à la période d'établissement du courant dans des circuits enveloppant de grosses masses de fer; le matériel d'expériences, pont et accessoires, est aussi plus délicat et plus encombrant que les ampèremètres et voltmètres qui sont d'usage courant dans les locaux d'essais.

» La méthode préconisée par M. Pellat est basée sur ce que le refroidissement d'un circuit inducteur au repos est si lent, qu'on a tout le temps voulu pour effectuer l'expérience et en tirer un résultat exact moyennant une facile correction.

» Le circuit à étudier est relié à un pont de Wheatstone classique dont les contacts sont établis à l'aide d'un interrupteur à mercure, plus sûr pour éviter l'introduction de résistances variables dans les contacts; les éléments employés doivent être non polarisables, du genre Daniell par exemple.

» La résistance à froid ayant été déterminée au pont préalablement pour éviter tout échauffement, on supprime, pendant la marche de la machine, toute communication entre celle-ci et le pont.

» Pendant que celle-ci s'échauffe, il est bon de calculer approximativement, d'après la valeur supposée de l'échauffement, où il conviendra de placer les chevilles de la boîte de résistance, pour avoir à peu près l'équilibre du pont dans la seconde mesure, et n'avoir pas trop longtemps à tâtonner.

» Quand la machine a fonctionné assez longtemps, pour avoir son échauffement maximum, on rompt le courant, en notant l'heure au moment de cette rupture. On arrête la partie tournante, aussi rapi-

dement que possible, puis on rétablit la communication avec le pont de Wheatstone. On procède alors à la mesure en maintenant la pile en circuit jusqu'à ce que l'équilibre du pont ait été obtenu ; on note l'heure. Il s'est écoulé un certain temps T entre le moment où l'on a rompu le courant et celui où la mesure est définitivement faite. On suit alors la variation de résistance due au refroidissement, toujours en maintenant la pile en circuit, et l'on note la résistance à diverses époques séparées les unes des autres par un temps t . Pour simplifier les opérations on prendra avantageusement les intervalles t égaux à T . Ces mesures font connaître de quelle quantité, soit A , s'est abaissée la température pendant le temps T qui s'est écoulé entre la rupture du courant et la première mesure de

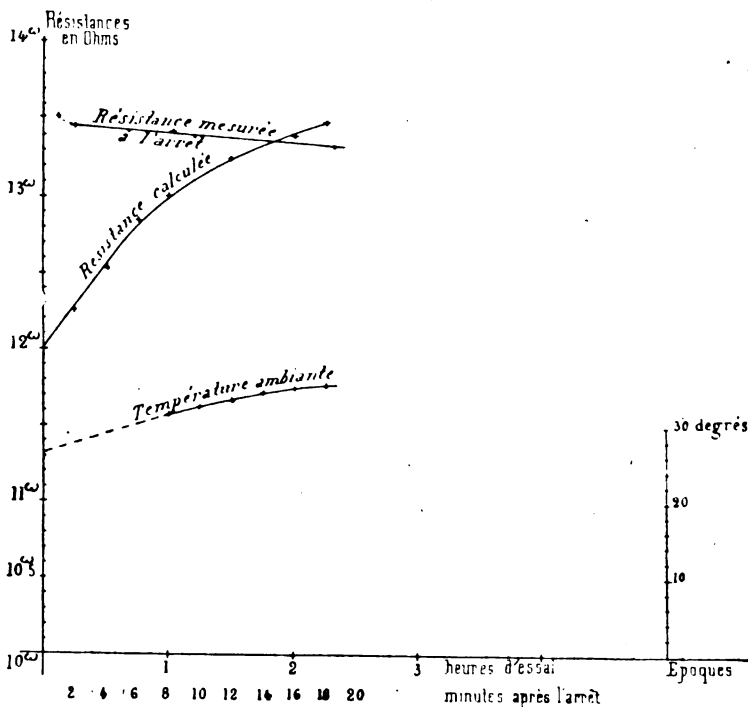


Fig. 5.

résistance qui suit. Il n'y a qu'à ajouter à la valeur de l'élévation de température trouvée alors la quantité A , pour avoir exactement l'élévation de température cherchée.

» Les figures 5 et 6 montrent l'application de la méthode à une dynamo compound $\frac{100 \text{ à } 130 \text{ kilowatts}}{126 \text{ volts}}$, 8 pôles, à 450 t : m, dont les

inducteurs étaient constitués, pour chaque pôle, par deux galettes de chacune 175 spires de fil $\frac{25}{10}$ et par une galette de deux spires de cuivre de 400 mm² pour l'enroulement série.

» Les lectures de différence de potentiel et de courant étaient faites avec des galvanomètres de précision à cadre mobile dans un plan vertical du genre Deprez-d'Arsonval avec glace sous l'aiguille pour éviter les erreurs de parallaxe.

» Dans un premier essai, d'une durée de 2 heures 30 minutes environ, la dynamo débitait 800 ampères sous 124 volts à 450 t : m ; l'intensité dans les inducteurs était de 8,7 ampères avec variations ne dépassant pas 0,1 ampère.

» Un pont de Wheatstone avec contacts à mercure et une batterie d'éléments Daniell avait été disposé pour faire les mesures de résistance. .

» La résistance à froid des inducteurs a été trouvée de 11,884 ω .

» La figure 5 montre les variations de la résistance calculée par le quotient $\frac{U}{I_1}$ durant l'essai et la variation de la température ambiante ainsi que les relevés faits à l'arrêt au pont de Wheatstone.

» L'annulation du courant, temps d'arrêt de la machine compris, a pris 50 à 60 secondes. La première lecture a été faite après la cessation du courant et ensuite de 2 en 2 minutes.

» La température ambiante au début de l'essai était de 26°,5 à 1 m de l'axe de la machine et celle superficielle des inducteurs de 27°,5.

» La concordance des résultats est satisfaisante, puisqu'on trouve, à chaud, par la méthode du rapport $\frac{U}{I}$, 13,550 ohms, et par la méthode du pont, 1 minute après la cessation du courant, 13,600 ω .

» L'allure de la courbe des résistances mesurées au pont en fonction du temps à partir de l'arrêt était remarquablement linéaire, sauf au début, où une courbure assez caractérisée apparaissait.

» Un second essai entrepris à titre de contrôle en relevant des points plus rapprochés et en opérant aussi rapidement que le permettait le soin des mesures a donné les résultats indiqués par la figure 6.

» Les lectures ont été faites dès la cessation du courant et de 20 en 20 secondes.

» On trouve encore nettement accusée la variation curviligne à

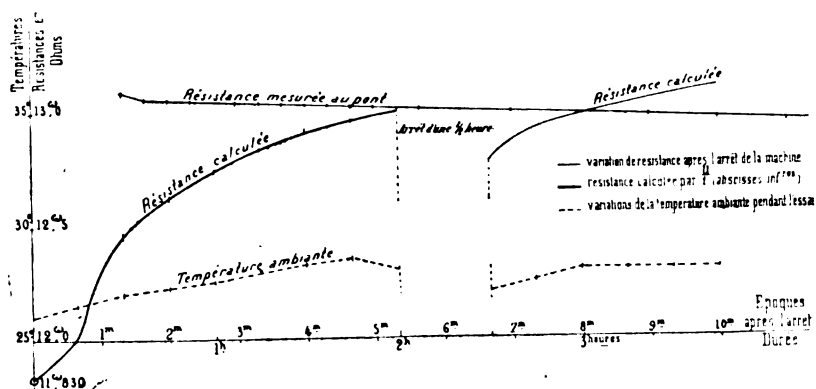


Fig. 6.

Résistance initiale à froid au pont, 11,874 ω . — Température ambiante, 26° C. — Température superficielle des inducteurs, 26°, 5 C. — Régime de la dynamo, 124,0 volts, 439 t : m. — Durée de la variation du courant jusqu'à $i = 0$, à l'arrêt, 1 minute 18 secondes.

l'origine de la courbe représentative des résistances en fonction du temps.

» 47. *Correction relative à la différence de température ambiante du milieu où s'effectue l'essai et celle du local où la machine est appelée à fonctionner.* — Lorsque ces températures sont très différentes, il convient d'apporter une correction aux températures admissibles prévues pour le fonctionnement en service courant.

» Le coefficient de dilatation de l'air variant avec la température, la masse d'air qui contribue, pendant un temps donné, au refroidissement des enroulements diminue quand la température s'élève, puisque le nombre de molécules contenues dans un certain volume diminue.

» Se basant sur cette considération et sur les modifications corrélatives des pertes diverses lorsque la résistance des circuits intéressés varie, la première Section (1) a proposé, en 1905, de réduire

(1) L'A. I. E. E. prenait, pour des essais effectués à 25° C., en prévision d'un service dans un milieu à θ_m C., une correction de

$$\frac{\theta_m - 25}{2}$$

pour 100 aux échauffements admis.

l'échauffement (différence entre 90° C. et la température du local de service courant) dans la proportion de 5 pour 1000 par degré de différence entre le local d'essai et celui de service courant. La formule de correction est donnée par le rapport

$$\frac{1}{1 + 0,005(\theta_m - \theta_0)},$$

où θ_m est la température du local en service courant; θ_0 est la température du local d'essai.

» Une autre formule de correction peut être basée simplement sur la puissance dissipée dans le circuit considéré dans des milieux à température θ_m et θ_0 .

» Deux cas sont à envisager :

» *a.* L'intensité dans le circuit doit rester la même dans l'essai en usine et dans le service courant.

» C'est le cas de la pratique ordinaire d'une machine à excitation définie pour un régime fixe ou pourvue d'un rhéostat de compensation destiné à maintenir le courant d'excitation à une valeur déterminée.

» Lorsque le régime est établi, le courant étant i , l'échauffement θ' et la résistance $R_{\theta_m + \theta'}$ en service normal, la puissance dissipée par effet Joule est

$$P' = i^2 R_{\theta_m + \theta'}.$$

» Celle dissipée à une température θ_0 et avec un échauffement θ sera

$$P = i^2 R_{\theta_0 + \theta}.$$

» En négligeant la variation du coefficient de dilatation de l'air et si les échauffements sont proportionnels aux puissances à dissiper, on a

$$\frac{P'}{P} = \frac{R_{\theta_m + \theta'}}{R_{\theta_0 + \theta}} = \frac{1 + \alpha(\theta_m + \theta')}{1 + \alpha(\theta_0 + \theta)}$$

et

$$\theta = \theta' \frac{1 + \alpha\theta_0}{1 + \alpha\theta_m}$$

ou

$$\theta' = \theta \frac{1 + \alpha\theta_m}{1 + \alpha\theta_0}.$$

» Cette formule donne une valeur un peu plus élevée pour θ que la formule de correction citée plus haut.

» Les résultats diffèrent cependant très peu. Ainsi, pour

$$\theta' = 45^{\circ} \text{ C.}, \quad \theta_0 = 25^{\circ} \text{ C.}, \quad \theta_m = 35^{\circ} \text{ C.},$$

on trouve, avec

$$\alpha = 0,004,$$

$$(1) \quad \theta = 45 \frac{1}{1 + 0,004(35 - 25)} = 42^{\circ},8 \text{ C.},$$

$$(2) \quad \theta = 45 \frac{1 + 0,004 : 25}{1 + 0,004 : 35} = 43^{\circ},3 \text{ C.}$$

» *b. Les inducteurs sont alimentés sous tension constante aux essais et en service, sans ajustage du courant d'excitation.*

» La différence des températures ambiantes aurait ici pour conséquence de faire varier le courant d'excitation, le régime de la dynamo et, corrélativement, les diverses résistances passives.

» L'échauffement pourra être sensiblement modifié par la variation de température des milieux, mais il est évident que ce cas ne répond pas à des conditions pratiques de fonctionnement.

» On ne conçoit pas en effet qu'une machine doive être vérifiée à un régime différent de celui qu'elle est appelée à assurer. Les appareils doivent être prévus pour des vitesses et, par suite, pour des excitations bien définies.

» Si les circuits sont sujets à voir leurs résistances modifiées en service du fait de la température ambiante, il tombe sous le sens que ceux-ci doivent comporter des résistances additionnelles de réglage établies en conséquence.

» Le rhéostat de compensation à insérer dans l'essai en usine pour que la résistance du circuit soit la même qu'en service courant est facile à calculer.

» Soient :

R la résistance du circuit lors de l'essai;

r la résistance de compensation;

R' la résistance du circuit en service;

R_0 la résistance du circuit à 0° C. ;

θ l'échauffement limite admissible dans l'essai;

θ' l'échauffement prévu en service;

θ_0 la température ambiante dans l'essai;

θ_m la température ambiante en service.

» On a les relations

$$R + r = R',$$

$$R_0[1 + \alpha(\theta_0 + \theta)] + r = R_0[1 + \alpha(\theta_m + \theta')],$$

$$\theta = \theta' \frac{1}{1 + 0,005(\theta_m - \theta_0)},$$

d'où l'on tire

$$r = \frac{R\alpha}{1 + \alpha\theta_0} \left\{ \frac{\theta_m - \theta_0}{1 + 0,005(\theta_m - \theta_0)} [1 + 0,005(\theta' + \theta_m - \theta_0)] \right\}.$$

» A part cette considération particulière, l'absence d'une résistance de compensation ne présente plus qu'un intérêt spéculatif secondaire :

» La puissance dissipée dans l'excitation serait alors, dans l'essai en usine, $\frac{U^2}{R_{\theta_0+\theta}}$ avec un échauffement θ ; en service, elle serait $\frac{U^2}{R_{\theta_m+\theta'}}$ avec un échauffement θ' que nous supposerons être l'échauffement limite admissible.

» Si les échauffements sont proportionnels aux pertes, on aura

$$\frac{\frac{U^2}{R_{\theta_0+\theta}}}{\frac{U^2}{R_{\theta_m+\theta'}}} = \frac{\theta}{\theta'}$$

et

$$\frac{R_{\theta_0+\theta}}{R_{\theta_m+\theta'}} = \frac{1 + \alpha(\theta_0 + \theta)}{1 + \alpha(\theta_m + \theta')},$$

d'où, en combinant,

$$\alpha\theta^2 + \theta(1 + \alpha\theta_0) - [1 + \alpha(\theta_m + \theta')] \theta' = 0,$$

équation dont la racine négative est évidemment à rejeter; on obtiendrait ainsi la limite θ de l'échauffement en usine correspondant à celle, θ' , fixée pour le service régulier, en considérant une machine sans rhéostat de compensation.

XII. — TOLÉRANCES.

» 48. La délicatesse des mesures à effectuer qui, sans être excessive, n'en est pas moins réelle ainsi que les nombreux facteurs qui

interviennent dans la détermination des températures militent évidemment en faveur de l'adoption d'une tolérance systématique.

» Nous estimons comme légitime et nécessaire de proposer et d'admettre une tolérance globale, d'une valeur absolue de 2° sur les résultats obtenus, soit 2 pour 100 de la température limite admise.

» Il ne nous paraît pas que les méthodes employées, quelque soin qu'on y apporte, puissent justifier une rigueur plus grande.

XIII. — ESSAIS D'ISOLEMENT ET DE RIGIDITÉ DIÉLECTRIQUES.

» 49. L'accord est pour ainsi dire unanime pour considérer la mesure d'isolement proprement dite comme superflue quand il s'agit d'ensemble de machines.

» Les avis sont assez partagés quant aux conditions à appliquer à la vérification de la rigidité diélectrique; certains ingénieurs préconisent une tension d'épreuve élevée avec une durée très courte d'application; d'autres sont partisans de tensions réduites d'une durée plus prolongée. La question, très controversée (fatigue brusque ou lente des isolants, à froid ou à chaud), n'est encore résolue que par les préférences personnelles des intéressés; mais il n'existe pas, à proprement parler, de bases d'appréciation ayant un caractère scientifique bien défini.

» Il y aurait là matière à des études intéressantes pour l'Industrie.

» En pratique, on soumet les isollements durant un certain temps à une tension alternative multiple de la différence de potentiel à l'état normal.

» Les *constructeurs* ayant pris part aux délibérations de la première Section ont été d'avis, pour les machines à 110 volts, d'appliquer, entre les parties à vérifier et la masse, une tension alternative progressivement croissante jusqu'à 1000 volts efficaces à une fréquence usuelle variant entre 25 et 50 p : s, le maximum de la tension étant maintenu durant 2 minutes, et la tension d'épreuve étant mesurée directement entre les points d'application.

» Cette prescription suppose que, dans les manœuvres des appareils, les courants de rupture des circuits inducteurs sont soigneusement évités.

XIV. — CONCLUSIONS.

» Bien des questions resteraient à approfondir, notamment en ce qui concerne la transmission de la chaleur dans les conducteurs noyés dans le fer des grandes armatures, mais l'importance du sujet demanderait des développements et une étude toute spéciale qui sortiraient du cadre de notre travail.

» D'autre part, nous tenons à insister spécialement sur ce fait que les conclusions auxquelles nous sommes arrivés se rapportent exclusivement aux isolants du genre coton et similaires.

» Il est bien certain que l'extension de l'emploi des isolants dérivés du mica, de l'amiante ou autres produits résistant à des températures plus élevées, et que nous ne pouvons citer ici que pour mémoire, amènerait des modifications susceptibles d'intéresser profondément les progrès de l'Industrie électrique.

» Il nous reste à émettre le vœu que la documentation rassemblée ici, grâce aux concours de bonne volonté que la première Section a rencontrés, puisse servir de point de départ, en France, à des recherches systématiques plus complètes suivant un programme facile à concevoir.

» La S. I. E. nous paraît éminemment désignée pour diriger une telle entreprise.

» L'intérêt que les industriels ne peuvent manquer de porter à ces recherches assurerait, nous ne pouvons en douter, les concours matériels indispensables. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Brunswick de sa très complète et intéressante étude.

M. BOUCHEROT. — « Je remercie M. Brunswick d'avoir bien voulu rappeler la part importante que j'ai prise aux discussions de la première Section lorsqu'elle préparait sa réponse au questionnaire du Ministère de la Marine concernant le fonctionnement et la recette des dynamos destinées aux navires de guerre.

» Je profite de cette circonstance pour vous apporter quelques développements sur certains points de la Communication si documentée de M. Brunswick.

» Mais, auparavant, je ne crois pas sans intérêt de faire savoir qu'en ce qui concerne la détérioration du coton en fonction de la température et du temps, le Comité électrotechnique français, en vue de sa collaboration à l'œuvre de la Commission électrotechnique internationale, a décidé d'entreprendre des expériences aussi complètes que possible, de concert avec le Laboratoire de notre Société. Je pense que, dans quelques mois, vous pourrez avoir connaissance des résultats de ces expériences dont l'intérêt n'échappe à personne.

» Et j'arrive à l'objet de mon intervention. Il y a trois températures intéressantes à considérer dans un organe quelconque de machine électrique, une bobine inductrice de dynamo ou d'alternateur, par exemple : la température superficielle θ_{superf} , qu'on peut relever aisément au thermomètre et qui n'est d'ailleurs pas absolument la même sur toute la surface accessible de la bobine; la température moyenne θ_{moy} , qu'on relève encore assez facilement par la mesure de la résistance électrique; et enfin la température maxima θ_{max} , qu'on voudrait bien pouvoir relever expérimentalement, mais qu'on ne peut connaître que par l'insertion d'un assez grand nombre de pinces thermo-électriques dans la masse, ce qui est impraticable dans la pratique courante de l'industrie.

» Il est hors de doute que, pour la réception des machines et appareils électriques, on ne peut se fier qu'à la mesure, soit de θ_{superf} quand cela est suffisant, et en ayant soin de relever cette température à l'endroit de la surface accessible où elle est la plus élevée, soit de θ_{moy} quand on est certain que la différence ($\theta_{\text{moy}} - \theta_{\text{superf}}$) est assez importante pour que cela en vaille la peine. Mais, en vue de l'édification personnelle du constructeur ou du client, il est utile de savoir qu'on peut *apprécier*, par le calcul, avec une approximation suffisante, en pratique, la température maxima θ_{max} , quand on connaît les deux autres.

» L'ensemble des circonstances qui déterminent chacune de ces trois températures est trop complexe pour qu'on puisse espérer les évaluer chacune par le calcul; mais, fort heureusement, on peut poser en principe que, pour une bobine placée dans une *situation* bien déterminée, il y a une relation très simple entre ces trois températures, qui est la suivante :

$$\frac{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{moy}}}{\theta_{\text{moy}} - \theta_{\text{superf}}} = \text{const.} = \alpha.$$

» Et il est assez facile de se rendre compte de la valeur de α , ou plus exactement des valeurs limites de α , par le calcul, dans les circonstances les plus fréquentes de l'application. Je donne en Note annexe le calcul de α dans différents cas, ainsi que la courbe de θ , température en chaque point de la masse du corps considéré. La plus petite valeur qu'on trouve pour α est 0,33; la plus grande 1; mais ces valeurs correspondent à des cas *limites* qu'on ne peut pas rencontrer en pratique, et l'on peut admettre que les limites pratiques de α sont 0,4 et 0,8, la valeur 0,4 correspondant au cas d'une bobine en forme *tube* (*fig. 1*, forme 1), c'est-à-dire très longue et peu épaisse, et la valeur 0,8 à une bobine en forme cy-

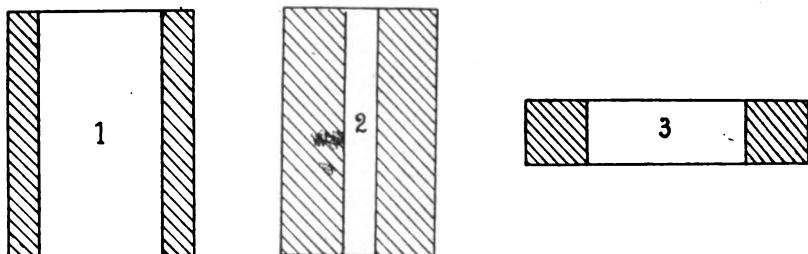


Fig. 1.

lindre (*fig. 1*, forme 2), c'est-à-dire longue et épaisse, ou en forme *tore* (*fig. 1*, forme 3), c'est-à-dire plate et de grand diamètre relativement aux autres dimensions.

» Par exemple, supposons que dans une bobine la température moyenne dépasse la température superficielle de 20°; on en conclura que la température maximum dépasse la température moyenne de 8°, si elle est du type *tube*, et de 16° si elle est du type *tore*. Pour une forme intermédiaire, on pourra apprécier la température maximum à 3° ou 4° près. Remarquons qu'il s'agit là d'une bobine assez poussée déjà et que cette approximation est, par conséquent, suffisante, dans la généralité des cas.

» Ces indications du calcul sont d'accord, ainsi que vous le disait M. Brunswick, avec les résultats des expériences faites par la National Physical Laboratory. Il serait trop long d'interpréter ici tous ces résultats, mais on voit très bien, par exemple, en calculant α d'après les résultats publiés, que le fait de retirer le noyau d'une bobine ayant un α d'environ 0,4 ou 0,5 (un peu allongée) fait passer celui-ci à 0,7 ou 0,8, parce qu'on se rapproche alors de la

forme tore (refroidissement par tout le contour de la section); qu'en général les bobines plates ont un α plus élevé (0,7 à 0,9) que les bobines longues (0,3 à 0,5). Il y a bien quelques valeurs de α un peu trop faibles (0,1 à 0,2); je crois qu'il faut les attribuer à ceci : dans toutes ces expériences, on ne semble pas avoir cherché θ_{superf} avec une exactitude aussi grande que θ ; en particulier, on ne dit pas où l'on relevait θ_{superf} , et peut-être n'était-ce pas chaque fois au même endroit; or, les valeurs trop faibles de α que donnent ces expériences correspondent à de très faibles échauffements, quelques degrés seulement, et il est compréhensible que cela peut provenir d'une petite erreur sur θ_{superf} .

» Je passe à autre chose. Avec les formules de la Note annexée, on ne peut pas songer à calculer $(\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{superf}})$ pour des bobines constituées par de nombreuses couches de fil isolé ou coton, parce qu'on ne connaît pas la conductibilité calorifique C du coton. Peut-être pourrait-on y arriver plus tard en commençant par déduire C (du coton) d'abord d'une série d'expériences comme celles du National Physical Laboratory sur des bobines bien définies comme isolation. Pour le moment il nous manque ce renseignement. Mais on peut se servir de ces mêmes formules pour calculer ce qu'il peut y avoir de différence de température $(\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{superf}})$ dans des masses métalliques dont on connaît bien C .

» C'est ce que j'ai fait dans la Note annexée pour quelques exemples plus particulièrement intéressants pour nous électriciens. Je résume les résultats :

» Dans les paquets de tôles (alternofluxeurs) se refroidissant par la tranche de chaque tôle, ce qui est généralement le cas, même dans les conditions les plus défavorables, il n'y a jamais que quelques degrés de différence entre la partie la plus chaude et la surface. (C'est d'ailleurs de cela que provient la petite augmentation de température superficielle qu'on constate quelquefois sur un induit qu'on vient d'arrêter.)

» Dans les bobines faites avec des barres de cuivre enroulées *sur champ*, il n'y a jamais que 2° ou 3° de différence entre la partie la plus chaude et la surface refroidissante (s'il n'y a qu'une couche, bien entendu).

» Par contre, il peut y avoir une grande différence de température

entre le milieu et les extrémités d'un conducteur noyé dans une encoche, s'il est très fortement isolé, très long et parcouru par une forte densité de courant. Il est difficile d'apprécier exactement cette différence, parce qu'on ne peut pas faire le départ entre la chaleur qui fuit latéralement et celle qui se propage longitudinalement; mais, par l'énormité du résultat auquel on arrive avec quelques hypothèses qui n'ont rien d'excessif, on peut présumer qu'il y a facilement quelques dizaines de degrés de différence dans les conducteurs de certains turbo-alternateurs ou turbo-dynamos. Les accidents, malheureusement trop fréquents, arrivés à ces machines confirment, il me semble, ces conclusions théoriques.

NOTE ANNEXE.

» Dans ce qui suit, nous appellerons P le nombre de watts dissipés dans chaque centimètre cube de matière, et C la conductibilité calorifique de la matière exprimée en watts par centimètre et par degré, c'est-à-dire le nombre de watts qui passent à travers un cube de 1 cm de côté entre deux faces dont la différence de température est de 1°.

» Évidemment, dans le cas d'une bobine, la matière n'est pas homogène, mais elle est suffisamment divisée, en général, pour qu'on puisse l'assimiler à une matière homogène. Si dans certains cas il n'en est pas ainsi, on évitera d'appliquer les conclusions, et voilà tout; ou bien on les corrigera en conséquence. Si la matière est constituée par un mélange (coton et cuivre par exemple), il conviendra d'attribuer à P et C des valeurs convenables.

» *Cas du mur de Fourier* (épaisseur finie, longueur et largeur infinies). Il y a (*fig. 2*) un plan XX' , parallèle aux parois du mur, dans lequel la température est maxima, $\theta_{\max}$. Si toute la chaleur est évacuée par une seule paroi, c'est l'autre paroi qui constitue ce plan; si la chaleur est évacuée autant par chacune des parois, ce plan est au milieu du mur ($l_1 = l_2$).

» Découpons par la pensée dans la masse, normalement aux parois, un tube de 1 cm² de section droite; à une distance x du plan de température maxima, considérons un élément du tube de lon-

gueur dx . Toute la chaleur produite dans la longueur x , c'est-à-dire entre le plan XX' et l'élément dx , doit traverser l'élément dx ; il en

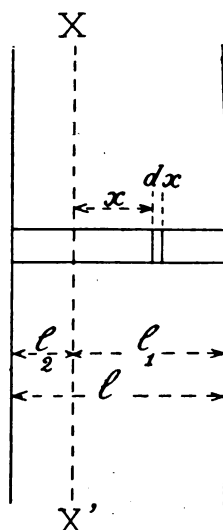


Fig. 2.

résulte, par simple proportionnalité,

$$Px = -C \frac{d\theta}{dx},$$

et, en intégrant,

$$\theta = \theta_{\max} - \frac{P}{2C} x^2.$$

» La température moyenne est alors

$$\theta_{\text{moy}} = \frac{1}{l} \int_{-l_1}^{+l_2} \left(\theta_{\max} - \frac{P}{2C} x^2 \right) dx = \theta_{\max} - \frac{1}{6} \frac{P}{Cl} (l_1^3 + l_2^3).$$

» Les températures des parois sont

$$\theta_1 = \theta_{\max} - \frac{P}{2C} l_1^2 \quad \text{et} \quad \theta_2 = \theta_{\max} - \frac{P}{2C} l_2^2.$$

Mais pour l'objet que nous avons en vue nous admettrons que l_1 est toujours plus grand que l_2 , c'est-à-dire $\theta_1 < \theta_2$, et nous considérerons θ_1 comme étant la température superficielle θ_{superf} qu'on peut mesurer au thermomètre, l'autre paroi étant supposée inaccessible; il en est ainsi pour les bobines d'inducteurs dont la surface intérieure est en

contact avec le noyau polaire presque toujours et ne peut pas être explorée au thermomètre.

» Étant donné que θ_{superf} devient θ_1 , on a

$$\theta_{\text{superf}} = \theta_{\text{max}} - \frac{P}{2C} l_1^2$$

et il est facile de déduire de là la valeur de α ,

$$\alpha = \frac{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{moy}}}{\theta_{\text{moy}} - \theta_{\text{superf}}} = \frac{\frac{1}{6} \frac{P}{Cl} (l_1^3 + l_2^3)}{\frac{P}{2C} l_1^2 - \frac{1}{6} \frac{P}{Cl} (l_1^3 + l_2^3)} = \frac{l_1^3 + l_2^3}{3ll_1^2 - (l_1^3 + l_2^3)},$$

qui est indépendante, évidemment, de P et de C .

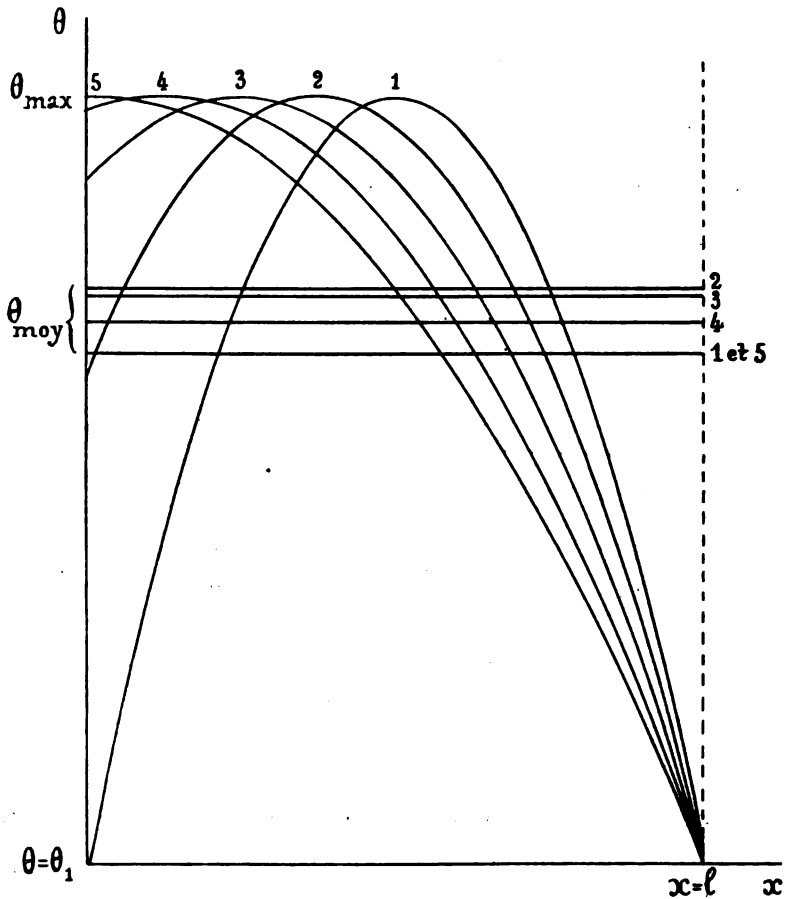


Fig. 3.

» J'ai représenté en figure 3 les courbes de θ en fonction de x

dans la masse du mur, avec diverses hypothèses au sujet de l'évacuation de la chaleur. La chaleur évacuée par unité de surface est en effet Pl_1 pour l'une des parois et Pl_2 pour l'autre. Mais, pour que les courbes soient comparables, j'ai supposé dans tous les cas que θ_{superf} et θ_{max} sont les mêmes. Les droites horizontales représentent les températures moyennes correspondantes.

» Dans le cas de la courbe 1, $l_1 = l_2$, autant la chaleur s'en va par une paroi que par l'autre; $a = 0,5$.

» Pour la courbe 2, $l_1 = \frac{5}{3}l_2$, les $\frac{5}{8}$ de la chaleur s'en vont par la paroi accessible; $a = 0,34$.

» Pour la courbe 3, $l_1 = 3l_2$, les $\frac{3}{4}$ de la chaleur s'en vont par la paroi accessible; $a = 0,35$.

» Pour la courbe 4, $l_1 = 7l_2$, les $\frac{7}{8}$ de la chaleur s'en vont par la paroi accessible; $a = 0,41$.

» Pour la courbe 5, $l_2 = 0$, toute la chaleur est supposée s'en aller par la paroi accessible, $a = 0,5$, comme pour la courbe 1.

» *Cas d'un cylindre de longueur indéfinie.* — Ce cas d'une bobine annulaire de longueur indéfinie étant plus compliqué, faute de temps, je me contenterai de traiter du cas simplifié d'un cylindre.

» La température est maxima au centre, sur l'axe du cylindre.

» Découpons par la pensée dans ce cylindre une rondelle de 1 cm d'épaisseur (*fig. 4*).

» Toute la chaleur produite dans le cercle de rayon x doit passer à travers l'anneau d'épaisseur dx et de rayon x , d'où comme tout à l'heure

$$P\pi x^2 = -C \frac{d\theta}{dx} 2\pi x$$

et

$$\theta = \theta_{\text{max}} - \frac{P}{4C} x^2,$$

$$\theta_{\text{moy}} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \left(\theta_{\text{max}} - \frac{P}{4C} x^2 \right) 2\pi x dx = \theta_{\text{max}} - \frac{1}{8} \frac{PR^2}{C},$$

$$\theta_{\text{superf}} = \theta_{\text{max}} - \frac{1}{4} \frac{PR^2}{C},$$

$$a = \frac{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{moy}}}{\theta_{\text{moy}} - \theta_{\text{superf}}} = 1.$$

» Il est à remarquer que la loi de décroissance de la température

à partir du centre est la même que dans le cas du mur avec température maxima sur une des faces (courbe 5 de la figure 3, mais

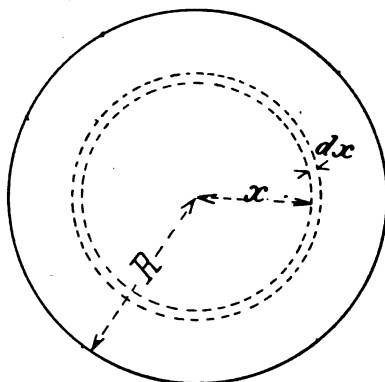


Fig. 4.

réduite de moitié); seulement, les parties centrales ayant moins d'influence que celles du pourtour, la température moyenne est différente, et α aussi.

» Cette forme, pas plus que celle du mur, ne se rencontre en pratique; mais, de même qu'on peut considérer le mur comme la *limite* pour les bobines très longues et très minces, on peut considérer le cylindre comme la limite pour les bobines longues et très

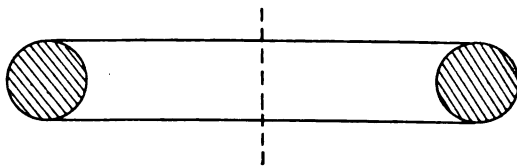


Fig. 5.

épaisses. On peut aussi le considérer comme la limite pour les bobines très plates et de grand diamètre, car en fait un tore tel que celui de la figure 5 diffère peu d'un cylindre au point de vue qui nous occupe.

» *Excès de température dans un paquet de tôles.* — Pour le fer C vaut environ 0,7 à 0,8 watt par centimètre et par degré. Si l'on suppose que toute la chaleur s'en va par la tranche de chaque tôle, on peut facilement calculer $\theta_{\max} - \theta_{\text{superf.}}$

» Dans le cas du mur, faisons

$$l_1 = l_2, \quad l = 40 \text{ cm} \quad \text{et} \quad P = 0,03;$$

cela correspond au cas d'un paquet de tôles très épais se refroidissant par deux côtés et dans lequel l'induction maxima varie de + à — 10000 gauss à la fréquence de 50 $\sim$ par seconde; on trouve

$$\theta_{\max} - \theta_{\text{superf}} = 8^\circ.$$

» Dans ces conditions, l'évacuation de la chaleur par les surfaces se fait à raison de 60 watts par décimètre carré, ce qui est une valeur excessive qu'on ne peut réaliser qu'avec une ventilation énergique.

» On peut donc dire que dans tous les cas il n'y a que quelques degrés de différence de température entre le milieu et la surface des paquets de tôles.

» *Excès de température dans une bobine en barres sur champ.* — Pour le cuivre $C = 4$ à 5 watts par centimètre et par degré.

» En ramenant encore ceci au cas du mur pour simplifier; en supposant que toute la chaleur part d'un seul côté; en faisant $l = 10$ et $P = 0,3$, ce qui correspond à une densité de courant de 4 ampères par millimètre carré, on trouve

$$\theta_{\max} - \theta_{\text{superf}} = 3^\circ.$$

» L'évacuation de la chaleur par la surface est de 300 watts par décimètre carré, ce qui est encore excessif. On peut donc dire encore ici qu'il n'y aura jamais que quelques degrés d'excès.

» *Excès de température dans un conducteur isolé calorifiquement.* — Pratiquement une barre, ou un fil noyé dans une encoche, n'est jamais isolé calorifiquement au point qu'on puisse négliger ce qui part de chaleur par la surface latérale; mais on peut faire cette hypothèse pour se rendre compte de ce qu'on aurait dans ce cas limite. Si δ est la densité du courant en ampères par millimètre carré, pour une section du conducteur de 1 cm², on a comme valeur de P : $0,02 \delta^2$.

» En supposant alors que le conducteur (cuivre) de longueur l se refroidisse autant par chacune de ses extrémités, et seulement

par ses extrémités, on trouve aisément

$$\theta_{\max} - \theta_{\text{superf}} = \frac{\delta^2 l^2}{2000}.$$

Pour $\delta = 3$ et $l = 40$ cela donne 7° , c'est-à-dire qu'il n'y a pas beaucoup à se préoccuper de l'excès de température intérieure des conducteurs d'induits ordinaires à courant continu ou alternatif. Mais, si l'on remarque que l'excès croît avec le carré de δ et le carré de l , on s'aperçoit vite qu'il ne faut pas conserver cette quiétude si l'on pousse ces deux quantités.

» Pour $\delta = 5$ et $l = 100$, on trouve en effet 125° ; cette longueur est atteinte facilement aujourd'hui dans les stators ou rotors de machines pour turbines à vapeur; on voit à quoi on s'expose en y poussant trop la densité du courant. Fort heureusement une bonne partie de la chaleur fuit latéralement. Combien? Pour le moment, je n'en sais rien. »

M. le PRÉSIDENT remercie M. Boucherot.

La séance est levée à 10^h40^m du soir.

BIBLIOGRAPHIE.

La consommation des chaudières à vapeur et l'économie de combustible,
par M. D. SIDERSKY, Ingénieur chimiste. Paris, Gauthier-Villars, 1908.

Le titre de cet Ouvrage attirera l'attention des nombreux propriétaires de générateurs dont la constante préoccupation est d'améliorer le rendement de leurs chaudières.

L'Auteur avait déjà traité, dans un Volume de la même collection, la question si importante des essais des combustibles. Mais à quoi bon s'être assuré l'usage du combustible le mieux approprié, si l'on n'en surveille pas l'emploi ?

Le présent Ouvrage, qui étudie principalement le contrôle des pertes de chaleur par l'analyse des gaz, se présente donc comme la suite naturelle de son aîné.

Après avoir énuméré les conditions essentielles d'une production économique de vapeur, l'Auteur passe en revue les différentes causes des mauvais rendements et les moyens d'y remédier. Il expose ensuite les procédés d'analyse rationnelle des gaz des carneaux et décrit les appareils employés.

L'Ouvrage se termine par le nouveau règlement pour les chaudières à vapeur du 9 octobre 1907, suivi d'une série de Tableaux intéressants.

Ce petit Livre sera lu avec intérêt par les industriels soucieux de suivre de près la marche de leurs générateurs et que n'effraient pas quelques essais, somme toute, relativement simples.

Études sur Léonard de Vinci, par Pierre DUHEM.

Librairie scientifique Hermann et fils, Paris.

Ce Volume est le second d'une série dans laquelle l'Auteur étudie, sur les précieux cahiers de notes de Léonard de Vinci, l'influence qu'ont exercée sur lui les doctrines enseignées à son époque. L'étude de M. Duhem ne saurait être analysée en détail ; travail d'une érudition profonde, il restitue avec une limpidité admirable l'atmosphère intellectuelle de cette époque si intéressante. A cette aurore du xvi^e siècle, les penseurs luttent depuis un siècle pour se dégager de l'autorité traditionnelle et tyrannique des idées d'Aristote. En même temps que les idées s'élargissent, un travail de classement important va séparer la Physique de la Métaphysique. Léonard condense en sa personne tout ce conflit d'idées. En ce qui touche plus directement à la Mécanique, rien n'est plus intéressant que de suivre le développement de ses idées, qui, e core fondées seulement sur l'observation simple, vont lui permettre de formuler les règles de la composition des forces et le théorème des moments dans les systèmes en équilibre. Ainsi que le remarque l'Auteur, on sent dans les idées de Léonard une intuition de ce quelque chose qui se transforme sans se détruire dans les opérations mécaniques, origine confuse de la notion de conservation de l'énergie. Le travail de M. Duhem est un monument vraiment digne du génie du prodigieux artiste que fut Léonard de Vinci.

Construction des induits à courant continu. *Coussinets, paliers et autres organes de transmission*, par MM. E.-J. BRUNSWICK et M. ALIAMET, Ingénieurs électriciens. Paris, Gauthier-Villars, 1908.

Les lecteurs des Ouvrages déjà parus dans l'*Encyclopédie*, sous la signature de MM. Brunswick et Aliamet, apprendront avec plaisir la publication de ce nouveau Volume.

Ils y retrouveront les mêmes qualités de clarté, de documentation, de concision, qui rendent la lecture de leurs travaux à la fois attrayante et instructive.

Les Auteurs étudient successivement les coussinets et les paliers de la dynamo, puis les moyens de transmission tels que poulies, courroies, cordes.

Ils donnent des renseignements pratiques précis sur les matériaux à employer et les conditions générales d'établissement de ces organes, sans oublier de signaler, chaque fois qu'ils en trouvent l'occasion, de petits trucs de métier souvent peu connus.

Leur Livre pourra donc être utilement consulté, non seulement par ceux qu'intéresse la construction des dynamos, mais encore par tous ceux qui ont la charge de projeter ou simplement d'entretenir des organes mécaniques de transmission.

MM. Brunswick et Aliamet ont eu la bonne inspiration de développer principalement les Chapitres présentant un caractère d'actualité, comme celui qui a trait aux roulements à billes, mis en parallèle avec les tourillons glissants.

L'enrouleur Leneveu, dont les applications sont déjà si nombreuses, mais devraient l'être davantage encore, fait l'objet d'une étude particulièrement intéressante.

Ajoutons enfin que des figures, fort bien choisies, achèvent de faire de ce petit Ouvrage un Volume des mieux réussis.

La Téléphonie. 3^e édition. Tome I : *Les lignes téléphoniques*, par ÉMILE PIÉRARD, Ingénieur en chef, Directeur de service à l'Administration des Télégraphes belges, Professeur d'Électricité à l'Université libre de Bruxelles. Paris, H. Dunod et Pinat, éditeurs.

Bien que par son titre ce Livre semble s'adresser uniquement aux ingénieurs des téléphones, les considérations qui y sont développées et les calculs qui y sont exposés peuvent être mis à profit par tous les constructeurs de lignes aériennes ou souterraines qui y trouveront des renseignements très intéressants et très utiles. Nous signalerons tout particulièrement quelques remarques fort judicieuses sur les effets du givre et du vent et sur les efforts auxquels sont soumis les pylones métalliques en cas de rupture de toute une portée de conducteurs. Des abaques dressés par l'auteur permettent de résoudre, sans difficulté, un grand nombre de problèmes.

On trouve également dans ce Livre une description complète des procédés de construction des lignes souterraines employées en Belgique, accompagnée des conditions imposées par les cahiers des charges pour la fourniture du matériel et l'exécution des travaux, ce qui est précieux pour dresser un projet.

Enfin le lecteur y trouvera quelques renseignements sur la théorie de Pupin, concernant la propagation du courant sur les longues lignes téléphoniques.

En résumé, cet Ouvrage est un Livre original que les constructeurs de lignes électriques et les praticiens du téléphone consulteront avec profit.

Les oscillations électromagnétiques, par le professeur J. ZENNECK. Ouvrage traduit de l'allemand par P. BLANCHIN, C. GUÉRARD et E. PICOT. Deux Volumes se vendant séparément : Tome I : *Les oscillations industrielles. Les oscillateurs fermés à haute fréquence*, un volume de 505 pages avec 422 figures. Tome II : *Les oscillateurs ouverts et les systèmes couplés, les ondes électromagnétiques. La télégraphie sans fil*, un volume de 489 pages avec 380 figures. Gauthier-Villars, éditeur, Paris.

Depuis 1905, nombre de techniciens qui s'occupent de la question des oscillations électromagnétiques et de leur application à la radiotélégraphie ont pu apprécier la valeur de l'excellent Ouvrage du professeur J. Zenneck. Malheureusement, les Ouvrages écrits en langue étrangère sont, en général, trop peu lus en France, en raison du faible goût que nous portons à l'étude des langues vivantes.

Aussi nous croyons que la traduction qui vient d'en être faite sera bien accueillie en France.

Rappelons que, dans l'esprit de l'Auteur, son Livre s'adresse plus spécialement à ceux qui ne sont pas familiarisés avec le Calcul différentiel et intégral; il peut donc être lu facilement, même par ceux que leur position dans l'industrie a obligés à négliger les études théoriques.

L'Auteur a été aussi amené à faire intervenir, dans l'établissement des divers principes, certaines considérations physiques qui possèdent, à défaut de rigueur, l'avantage de préciser le sens des formules.

Dans sa préface, l'Auteur déclare sa faible sympathie pour les analogies mécaniques. « Par un usage trop fréquent de celles-ci, dit-il, on peut craindre que le lecteur ne croie avoir parfaitement compris un phénomène électromagnétique, s'il découvre une analogie mécanique plus ou moins frappante, et qu'il se dispense d'un examen approfondi du phénomène électromagnétique considéré. Il me semble plus important de forcer le lecteur à se représenter clairement les actions électromagnétiques elles-mêmes et leurs lois, et à se créer peu à peu, si je puis m'expliquer ainsi, *une manière de voir électromagnétique*. » C'est là selon nous une opinion fort juste qu'il serait bon de répandre.

Dans cette préface se trouvent également développées les raisons pour lesquelles l'étude des oscillations électromagnétiques et de la télégraphie sans fil est précédée d'un exposé assez développé de la technique des courants alternatifs industriels : les lecteurs auxquels s'adressent l'Ouvrage n'ont souvent que des notions assez restreintes sur un tel sujet, et cependant sa connaissance est évidemment indispensable pour aborder avec fruit l'étude des oscillations de haute fréquence.

Quant au texte même, indépendamment de sa valeur scientifique, garantie par le nom de l'Auteur, il possède une très grande clarté faite pour séduire un lecteur français.

L'auteur a cru devoir rejeter, à la fin de chaque Volume, des calculs plus développés que ceux intercalés dans le texte, ainsi que des indications bibliographiques très complètes. Cette façon de procéder possède évidemment des avantages; cependant, il serait parfois commode d'avoir dans le texte même et immédiatement sous les yeux

certaines formules simples, sans avoir à les rechercher ailleurs. Quand l'Auteur a besoin de faire appel à des considérations exposées dans d'autres parties de l'Ouvrage, il se contente presque toujours de les indiquer par un numéro de paragraphe; un simple mot suffirait souvent pour rafraîchir la mémoire et éviter des recherches qui, souvent répétées, peuvent devenir fastidieuses et fatiguent le lecteur.

Enfin nous ne pouvons nous empêcher de regretter que des exigences d'édition, sans doute, aient obligé à conserver les symboles et les caractères allemands; c'est ainsi que, dans les formules, on emploie toujours le nombre d'alternances par seconde n au lieu de la fréquence f ($n = 2f$).

Laissant de côté ces critiques de pur détail, nous sommes persuadés que le présent Ouvrage intéressera non seulement ceux auxquels il était primitivement destiné, mais même les électriciens possédant des connaissances mathématiques plus étendues. Il renferme en effet certains exposés, complets bien qu'élémentaires, de questions (telle que celle des flux d'énergie) que les Traités français similaires laissent ignorer totalement.

Il est à souhaiter qu'une nouvelle édition allemande permette de mettre l'édition française au courant des derniers progrès réalisés en radiotélégraphie.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours,
de 3 heures à 6 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

Aide-mémoire de poche de l'Électricien...., par Ph. PICARD et A. DAVID.
3^e édition, par A. DAVID et L. CREMEL. Paris, Ch. Béranger, 1910; 1 vol.
in-16 oblong, cartonné toile souple. (*Don de l'éditeur.*)

Analyse des métaux par électrolyse, par A. HOLLARD et L. BERTIAUX.
2^e édition, entièrement refondue et augmentée. Paris, Dunod et Pinat,
1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)

Ciment (Le) armé. Rapport présenté à la Section du Génie rural le
10 mars 1909 par M. Paul LECLER (Société des Agriculteurs de France).
Paris, typographie Plon-Nourrit et C^{ie}, 1909; 1 brochure in-8°. (*Don de
l'auteur.*)

Cours d'électricité, par H. PELLAT. T. III. Paris, Gauthier-Villars, 1908;
1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)

*Cours pratique d'électricité industrielle à l'usage des élèves des écoles
d'enseignement technique*, par Henry CHEVALLIER. Avec une Préface de
M. A. MILLET. T. I. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-8°, relié toile.
(*Don de l'éditeur.*)

*Électricité (L') considérée comme forme de l'énergie. Électrostatique
(1^{re} Partie)*, par le lieutenant-colonel E. ARIÈS. Paris, Hermann et fils,
1909; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)

Électroculture (L'). Conditions d'application de l'électricité à l'Agriculture,
par M. Paul LECLER. (*Congrès international des applications de
l'Électricité*, Marseille, 1908.) Paris, Gauthier-Villars, 1909; 1 brochure
in-8°. (*Don de l'auteur.*)

Fabrication (La) électrochimique de l'acide nitrique et des composés nitrés

- à l'aide des éléments de l'air*, par Jean ESCARD. 2^e édition. Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'auteur.*)
- Isolants (Les) en électrotechnique*, par Karl WERNICKE. Traduit de l'allemand par A. HALPHEN. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-8°, relié toile. (*Don de l'éditeur.*)
- Leçons d'Électrotechnique générale*, professées à l'École supérieure d'Électricité, par P. JANET. T. I, 3^e édition, revue et augmentée. Paris, Gauthier-Villars, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Matières (Les) abrasives industrielles...*, par Jean ESCARD. Paris, Ch. Béranger, 1910; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Notions élémentaires du Calcul différentiel et du Calcul intégral*, par Jean PAULY. 2^e édition. Paris, Ch. Béranger, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Œuvres de Pierre Curie*, publiées par les soins de la Société française de Physique. Paris, Gauthier-Villars, 1908; 1 vol. in-8°, broché. (*Don de l'éditeur.*)
- Premières notions de Télégraphie et de Téléphonie sans fil*, par BÉGÉRE. Paris, L. Baudry de Saunier, éditeur, 1909; 1 vol. in-8°, broché (*Bibliothèque Omnia*). (*Don de l'éditeur.*)
- Technique (La) pratique des courants alternatifs à l'usage des Électriciens et des Ingénieurs*, par Giuseppe SARTORI. T. II. 2^e édition française, traduite de l'italien, revue et corrigée par J.-A. MONTPELLIER. Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. grand in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)
- Traité de Physique*, par O.-D. CHWOLSON. Traduit par E. DAVAUX. T. III, 1^{er} fascicule. Paris, A. Hermann et fils, 1909; 1 vol. in-8°, broché. (*Don des éditeurs.*)
-

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE

DES

ÉLECTRICIENS.

SOMMAIRE.

Admission de membres titulaires, p. 654. — Étude du rayonnement des lampes à incandescence à filament métallique (MM. **Féry** et **Chêneveau**), p. 655. — Méthode nouvelle pour compo-
pounder les alternateurs, par MM. Dalémont et Herdt (M. **Liouville**), p. 691.

CORRESPONDANCE, p. 720.

BIBLIOGRAPHIE, p. 723.

OUVRAGES OFFERTS, p. 727.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME IX (2^e SÉRIE), p. 729.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS CITÉS DANS LE TOME IX (2^e SÉRIE), p. 733.

COMPTE RENDU

DE LA

RÉUNION ORDINAIRE MENSUELLE

du mercredi 4^{er} décembre 1909 ⁽¹⁾.

PRÉSIDENCE DE M. H. PELLAT.

La séance est ouverte à 8^h40^m du soir et le procès-verbal de la dernière Réunion mensuelle adopté.

Il est donné connaissance des Ouvrages offerts à la Bibliothèque de la Société (*voir* p. 727) et des demandes d'admission suivantes :

(1) La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MM.

Abt (Victor), Ingénieur, Directeur de la *Station électrique du Pont du Gouffre*, à Remiremont (Vosges). — Présenté par MM. de Valbreuze et Sabourain.

Bratman (Ferdinand), Ingénieur à la *Compagnie générale du Gaz pour la France et l'Étranger*, 9, rue du Gazomètre, à Tours (Indre-et-Loire). — Présenté par MM. Maquaire et Limousin.

Crouzat (Pierre), 45, boulevard des Batignolles, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Cunéo d'Ornano (Napoléon-Louis-François-Gustave), 39, avenue Kléber, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Drake del Castillo (Louis), Ingénieur électricien, 2, rue Balzac, à Paris. — Présenté par MM. Maurice Leblanc et de la Ville le Roux.

Le Bœuf (Pierre), 16, rue Froide, à Caen (Calvados). — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Olivier (Henri-Paul), 58, rue Boissière, à Paris. — Présenté par MM. Ilievici et Roy.

Pinget (Robert-Charles-Léon), 80, rue du Ranelagh, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Thuloup (Émile-Adrien-Albert), Ingénieur du Génie maritime, Ministère de la Marine, 2, rue Royale, à Paris. — Présenté par MM. Brunswick et Maugas.

Valensi (Raoul), Enseigne de vaisseau, 57, boulevard Pereire, à Paris. — Présenté par MM. Janet et Chaumat.

Ces candidats sont élus Membres titulaires de la Société internationale des Électriciens.

M. le PRÉSIDENT fait part du décès de M. *Decencièrre-Ferrandière* et en exprime les regrets de la Société.

Des remerciements sont adressés à l'auteur du don suivant :

M. CANELLO..... 20 lampes Canello

L'ordre du jour appelle les Communications techniques.

**ÉTUDE DU RAYONNEMENT DES LAMPES A INCANDESCENCE
A FILAMENT MÉTALLIQUE ⁽¹⁾.**

MM. FERY et CHÉNEVEAU. — « Pendant longtemps, l'industrie électrique ne disposa, pour l'éclairage par incandescence, que de lampes à filament de charbon. Mais, si le prix de revient de ces lampes était devenu infime, leur nombre restait toujours assez restreint, à cause du coût élevé de l'énergie électrique. Après les travaux d'Auer von Welsbach, l'emploi des manchons à incandescence par le gaz paraissait avoir porté un grand coup à l'éclairage électrique.

» Aujourd'hui le problème se présente sous un jour plus favorable qui présage une revanche de l'électricité sur le gaz. D'une part, la nouvelle tarification de l'énergie électrique, consentie par la plupart des Compagnies d'Électricité à leurs abonnés, permet à ceux-ci d'utiliser le courant distribué à des conditions plus avantageuses ; d'autre part, l'industrie des lampes a réalisé un grand progrès en construisant des lampes à filament métallique (osmium, tantale, tungstène pur ou allié, etc.) qui ont sur les lampes à filament de charbon, entre autres supériorités, celle de donner un rendement lumineux bien meilleur et qui présentent comme caractéristique fondamentale la variation de résistance dans le même sens que la température.

» De nombreuses expériences et études ont été faites récemment sur ces lampes toutes modernes tant au point de vue de leur construction que de leur puissance lumineuse. Nous rappellerons, en particulier, les travaux de MM. Blondel et Laporte, parus cette année dans le *Bulletin de la Société des Électriciens* ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Communication présentée par M. Chéneveau.

⁽²⁾ BAINVILLE, *Bull. Soc. Int. Électriciens*, 2^e série, t. V, 1905, p. 363 ; 2^e série, t. VII, 1907, p. 122. — A. BLONDEL, *Bull. Soc. Int. Électriciens*, 2^e série, t. IX, 1909, p. 79. — W.-W. COBLENTZ, *The Electrical World*, vol. LIII, avril 1909. — P. JANET, *Bull. Soc. Int. Électriciens*, 2^e série, t. VII, 1907, p. 122. — A.-C. JOLLEY, *The Electrician*, 13 août 1909, p. 700 ; 20 août 1909, p. 755. — LAPORTE, *Bull. Soc. Int. Électriciens*, 2^e série, t. IX, 1909, p. 111. — P.-G. NUTTING, *The Electrical World*, 23 septembre 1909, p. 715. — REMANÉ, *Ind. Électrique*, 23 décembre 1908, p. 609. — TURPAIN et NICOLEAU, *Revue électrique*, t. XII, 30 juillet 1909, p. 68. — WAIDNER et BURGESS, *Bull. of the Bureau of Standards*, vol. II, n° 3, 1907, p. 319.

» Nous avons pensé, M. Féry et moi, qu'il serait du plus grand intérêt d'étudier le rayonnement total et le rayonnement monochromatique des lampes à incandescence à filament métallique, en utilisant les lois nouvelles que la Physique moderne a mises en valeur. Pour scientifique qu'elle puisse paraître, une telle étude doit montrer l'intérêt du nouveau mode d'éclairage, au point de vue industriel.

I. — LOIS DU RAYONNEMENT.

» 1^o Vers 1880, Stefan a trouvé expérimentalement la relation qui lie le rayonnement calorifique des corps chauds à leur température propre ⁽¹⁾. La loi de Stefan est la suivante : *La quantité de chaleur rayonnée par un corps noir (ou par l'orifice d'un four porté à une haute température) est proportionnelle à la quatrième puissance de la température absolue du corps noir (ou du four) :*

$$(1) \quad Q = a T^4 \quad (2).$$

» C'est ce qu'on peut appeler la loi du *rayonnement total*.

» La notion de *corps noir* ou de *radiateur intégral*, indiquée pour la première fois par Kirchhoff, implique l'idée d'un corps qui émettrait en proportion normale toutes les radiations quand on le chauffe ; tels sont, par exemple, le charbon et un grand nombre d'oxydes métalliques. Des métaux, comme le platine, qui, chauffés, n'obéissent pas à cette loi, sans s'en écarter beaucoup, pourront être appelés des *corps gris*. Un corps gris se rapprochera d'autant plus de la conception du corps noir que sa température sera plus élevée ; il ne devra évidemment pas posséder de propriétés sélectives.

» 2^o La courbe représentant l'énergie de radiation d'un corps noir en fonction de la longueur d'onde présente un maximum. Si l'on

(1) STEFAN, *Wien Ber.*, t. LXXIX, 1879, p. 391. — BOLTZMANN, *W. A.*, t. XXII, 1884, p. 31, 291.

(2) En réalité, si la température absolue t du corps qui reçoit la chaleur n'est pas négligeable vis-à-vis de la température absolue T du corps noir, la loi s'exprime par l'équation

$$Q = \sigma (T^4 - t^4),$$

dans laquelle le coefficient $\sigma = \pi a$ représente, en watts ou en calories, l'énergie hémisphérique dissipée par 1 cm² lorsque $T^4 - t^4 = 1$. D'après les dernières expériences de Féry, $\sigma = 6,3 \times 10^{-12}$ watt (*Comptes rendus*, t. CXLVIII, 1909, p. 915).

chauffe ce corps à des températures de plus en plus élevées, le maximum se déplace vers les courtes longueurs d'onde (Lummer et Pringsheim). La relation entre la longueur d'onde du maximum de l'énergie dans le spectre de radiations émises par un radiateur intégral servant de source et la température absolue de cette source est également bien démontrée. *Le produit de la longueur d'onde λ_m du maximum de l'énergie dans le spectre d'un corps noir par la température absolue T du corps noir est une quantité constante.*

» Cette loi, due à Wien ⁽¹⁾ et dite *du déplacement*, est donc représentée par la relation très simple

$$(2) \quad \lambda_m T = K;$$

K est une constante numérique qui a été trouvée égale à 2940. Cette loi permet de calculer facilement la longueur d'onde dominante du flux complexe fourni par un corps noir porté à une température connue.

» 3° Si l'on considère le spectre émis par un corps noir, on peut, pour chaque radiation de longueur d'onde définie, connaître l'intensité du rayonnement monochromatique par une formule exponentielle de la forme

$$(3) \quad I_\lambda = A e^{-\frac{B}{T}}$$

qui représente la *loi du rayonnement monochromatique*.

» A et B sont des constantes qui renferment la longueur d'onde λ de la radiation mesurée. Cependant, on n'est pas encore d'accord sur la fonction exacte qui peut exister entre ces coefficients et la longueur d'onde.

» D'après Wien ⁽²⁾,

$$A = C \lambda^{-5}, \quad B = \frac{c}{\lambda},$$

C et c étant des constantes.

» La constante c peut être donnée par la relation

$$c = 5 \lambda_m T.$$

Suivant les auteurs, et pour les températures qui nous intéressent,

⁽¹⁾ W. WIEN, *W. A.*, t. LII, 1891, p. 132.

⁽²⁾ W. WIEN, *W. A.*, t. LVIII, 1896, p. 662.

c varie de 14200 à 14600. D'après ce résultat, la loi du rayonnement monochromatique devient exprimable par l'équation

$$(4) \quad I_{\lambda} = C \lambda^{-5} e^{-\frac{c}{\lambda T}},$$

dans laquelle le produit λT peut être constant, d'après la loi du déplacement, si $\lambda = \lambda_m$.

» D'après Planck ⁽¹⁾, la loi du rayonnement monochromatique serait

$$I_{\lambda} = \frac{C \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1},$$

c'est-à-dire encore de la forme exponentielle. Cette dernière formule semble la plus exacte, mais elle n'est pas aussi commode à employer que celle de Wien ⁽²⁾.

II. — ÉTUDE PRÉLIMINAIRE SUR LA LAMPE A INCANDESCENCE A FILAMENT DE CHARBON.

» Avant de procéder à des expériences sur une lampe à filament métallique, il était logique d'étudier une lampe à filament de charbon, puisque ce corps agit pratiquement comme un corps noir, dont on connaît bien les lois du rayonnement. La méthode d'essai comprenait deux déterminations :

» 1^o Celle de la température du filament en fonction de la puissance électrique consommée dans la lampe ;

» 2^o Celle de l'intensité lumineuse émise par la lampe en fonction de la puissance.

» 1^o *Mesure de la température du filament.* — La mesure de la température du filament se faisait à l'aide du *pyromètre optique à absorption*, décrit antérieurement par l'un de nous ⁽³⁾.

⁽¹⁾ PLANCK, *Drude Ann.*, t. I, 1900, p. 116, 719.

⁽²⁾ Cette formule n'est d'ailleurs pas la seule. Voir, à ce sujet, les formules de THIESEN, *Verh. d. Phys. Ges.*, t. II, 1900, p. 65. — LORD RAYLEIGH, *Phil. Mag.*, 5^e série, t. II, 1900, p. 539. — LUMMER et JANCKE, *Drude Ann.*, t. III, 1900, p. 283. On peut remarquer que le premier terme du développement en série de la formule de Planck est la formule de Wien.

⁽³⁾ C. FÉRY, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, 26 mai 1902, p. 1201; *Journ. de Phys.*, 4^e série, t. III, 1904, p. 32.

» Ce pyromètre est basé sur la loi du rayonnement monochromatique, qui, nous l'avons vu, peut se représenter par la formule

$$(5) \quad I_r = A e^{-\frac{B}{T}};$$

les constantes A et B renfermant la longueur d'onde $0,629 \mu$ du verre rouge oculaire de l'appareil.

» Dans cet appareil (*fig. 1*), la mesure de l'intensité I_r de la radia-

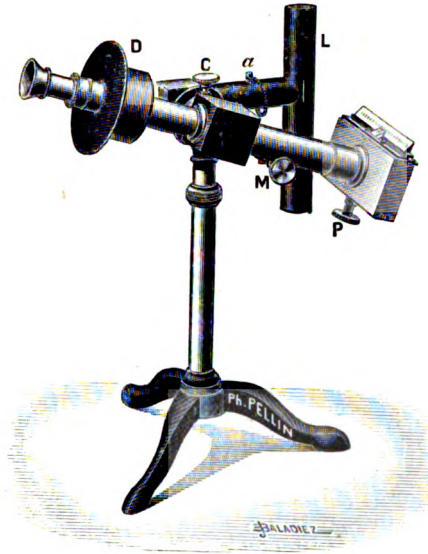


Fig. 1.

tion rouge émise par le filament de la lampe se fait en la comparant à celle, de même nature, d'une lampe étalon à acétate d'amyle L

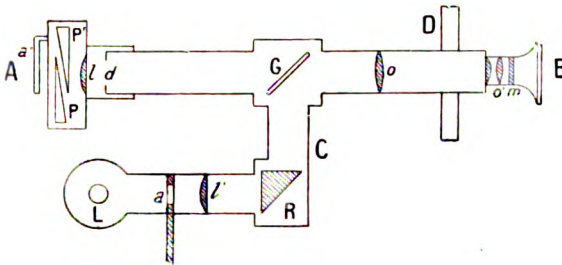


Fig. 1 bis.

portée par l'instrument; on amène ces intensités à être égales en interposant devant l'objectif, visant le filament, une épaisseur

variable de verre fumé. On obtient ce résultat en déplaçant, au moyen d'un pignon P (*fig. 1*), deux prismes d'angle très aigu (*fig. 1 bis*) sur le parcours du faisceau incident; l'épaisseur de la lame à faces parallèles, constituée par l'ensemble des deux prismes, est proportionnelle au déplacement δ de ces derniers lu sur l'échelle divisée qu'on aperçoit sur la figure 1.

» D'après la loi de l'absorption, l'intensité de la lumière qui traverse les prismes au moment de l'équilibre photométrique est

$$(6) \quad I = I_r e^{-K\delta},$$

K étant le coefficient d'absorption du verre.

» En combinant les équations (5) et (6), on a donc

$$(5 \text{ bis}) \quad I = A e^{-\frac{B}{T}} e^{-K\delta}$$

ou

$$\frac{B}{T} + K\delta = \log \left(\frac{A}{I} \right) = \text{const},$$

$$\delta = \frac{\text{const}}{K} - \frac{B}{K} \left(\frac{1}{T} \right),$$

$$(7) \quad \delta = M - \frac{N}{T}.$$

» La courbe de graduation du pyromètre optique est donc une hyperbole, si l'on utilise l'équation (5) ou (5 bis), ou une droite, d'après l'équation (7), si l'on porte, sur un diagramme, les valeurs des déviations δ en abscisses et les inverses $\frac{1}{T}$ des températures absolues T en ordonnées. Le pyromètre optique, étalonné à l'aide d'un four électrique à résistance présentant un petit orifice et faisant ainsi l'office d'un corps noir dont la température était déterminée à l'aide d'un couple Le Chatelier, donne les résultats suivants (1) :

(1) On voit qu'il est possible de changer l'échelle et la sensibilité de l'appareil par l'interposition de verres absorbants devant la lampe étalon en a (*fig. 1*) ou devant l'objectif. Il y a lieu aussi de signaler comme détails pratiques que l'orientation de l'instrument s'obtient à l'aide de la vis C et la mise au point s'effectue à l'aide de la vis à crémaillère M agissant sur le tirage de l'objectif, ce qui rend les mesures indépendantes de la distance, car un diaphragme fixe maintient constant l'angle du cône des rayons concentrés par la lentille malgré la variation de tirage.

Déviation du pyromètre optique
(1 verre à la lampe étalon).

Températures vulgaires,
 $t = T - 273$, du corps noir.

20	1940 ^o
30	1765
40	1618
50	1488
60	1374
70	1273
80	1181
90	1100

» 2° *Mesure de l'intensité lumineuse.* — Cette mesure fut faite :

» *a.* D'abord par les méthodes photométriques ordinaires en nous servant d'un photomètre de Lummer et Brodhun et d'un étalon à acétylène (¹) présentant toutes les garanties de constance désirables.

» Cet étalon (*fig. 2*) est constitué par un bec d'acétylène *t*, enve-

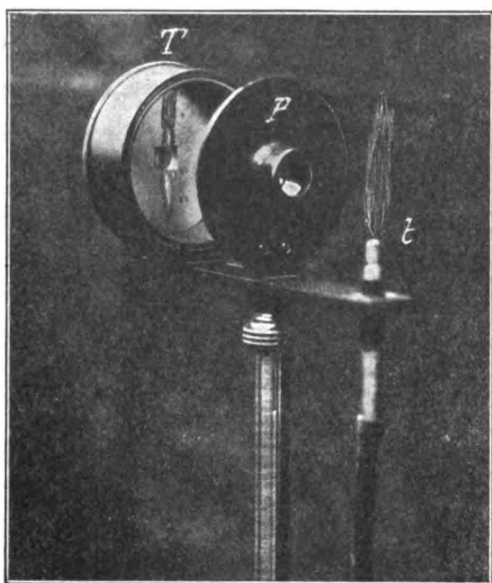


Fig 2.

loppé d'une cheminée métallique (²), et par deux lentilles *L* et *L'* de même axe optique. Ces lentilles sont serties au centre de deux écrans métalliques *T* et *D* supportés par la monture de l'appareil.

(¹) C. FÉRY, *Journ. de Phys.*, 4^e série, t. III, 1904, p. 838.

(²) Dans la figure 2, la cheminée a été retirée pour montrer le bec *t* et la flamme *A* d'acétylène.

La lentille L donne en vraie grandeur l'image renversée de la flamme d'acétylène A dans le plan de la lentille L'. La lentille L' donne l'image de la lentille L. Les rayons lumineux, provenant de la lentille L', sont donc distribués dans un cône dont le sommet est le centre optique de cette lentille et viennent éclairer l'une des faces du photomètre.

» Devant la lentille L' est placé un diaphragme mobile à l'aide de la vis ν qui découpe, dans le tiers moyen de l'image de la flamme, lorsque le réglage est effectué, un rectangle dont les dimensions sont de 8^{mm} de hauteur et de 2^{mm} de largeur. On a choisi, comme source de lumière, le tiers moyen de l'image de la flamme parce que cette partie de l'image a une intensité lumineuse constante, lorsque la hauteur de la flamme varie dans les limites assez étendues au voisinage d'une hauteur type. La hauteur de l'image, et par conséquent celle de la flamme, est réglée par un trait de repère fixe tracé sur le diaphragme D. L'appareil est bien réglé quand la pointe de l'image renversée fournie par la lentille L affleure le trait de repère. L'intensité lumineuse est indépendante des faibles variations de pression de l'acétylène qu'on peut produire dans un générateur de faible volume et à production continue.

» L'étalonnage de l'appareil fut fait au laboratoire au moyen d'une lampe Carcel. On régla l'ouverture du diaphragme pour que l'étalon à acétylène donne 0,2 carcel, soit 2 bougies décimales ⁽¹⁾. Puis la vis ν fut bloquée à l'aide d'un plomb et ce poinçonnage de l'appareil évita par la suite tout dérèglement de l'étalon ⁽²⁾.

(1) Pour que la loi fondamentale de la photométrie s'applique bien dans les deux cas, il faut que la source lumineuse soit vue de l'écran sous un angle dont la tangente est de $\frac{1}{100}$, ce qui correspond pour la lampe Carcel placée à 1 m à une hauteur de flamme de 4 cm.

Comme l'étalon à acétylène a une hauteur de 8 mm, on peut ainsi l'approcher à 20 cm de l'écran photométrique : à ce moment, il donne un éclaircissement 5 fois plus grand que la Carcel.

(2) La moyenne des mesures faites sur une lampe à incandescence a donné 2,1 bougies décimales, soit un écart de 5 pour 100. Cette lampe à incandescence avait été étalonnée, à l'aide d'une lampe Hefner, pour divers régimes (dont le régime normal 53 watts et le régime 39,5 watts pour lequel la lumière avait la même teinte que celle de l'étalon à acétate d'amyle), en admettant que le rapport $\frac{\text{Hefner}}{\text{Bougie}} = 0,92$.

Une comparaison directe de l'étalon à acétate d'amyle avec l'étalon à acétylène a

» *b.* La détermination photométrique fut ensuite répétée au moyen du *photomètre à lecture directe* présenté par l'un de nous ⁽¹⁾.

» Cet appareil permet d'effectuer les comparaisons photométriques sans le secours de l'œil. Faisant une sélection des radiations du spectre de la source qui sont inactives sur l'œil, il permet de ne laisser passer de chaque radiation élémentaire du faisceau lumineux qu'une quantité proportionnelle à son activité sur la rétine. Pour qu'il en soit bien ainsi, il faut que l'absorption soit complète dans l'ultra-violet et dans l'infra-rouge et nulle pour la longueur d'onde de Langley 0,54 μ . Pour les autres radiations, on pourra employer les facteurs d'illuminations indiqués par Macé de Lépinay et Nicati ⁽²⁾.

» On arrive très bien à ce résultat en filtrant la lumière de la source à l'aide d'une cuve absorbante à acétate de cuivre ⁽³⁾. Les photographies d'un spectre, obtenues avec ou sans solution d'acétate de cuivre à 7 pour 100, placée devant la fente d'un spectrographe à prisme de quartz, montrent bien l'absorption complète dans l'ultra-violet (*fig. 3*) ⁽⁴⁾.

» Cette absorption des *sels organiques* de cuivre, bien plus consi-

donné les résultats suivants :

Hauteur normale de la flamme.....	1,80 bougie
Flamme trop haute de 5 mm	1,81 —
Flamme trop basse de 5 mm	1,70 —

soit une variation de 6,5 pour 100 pour une différence de 10 mm dans la hauteur de la flamme et de 3,25 pour 100 pour ± 5 mm. Dans les mesures précédentes, on a employé du gaz acétylène provenant du carbure commercial. Il est possible que ces variations soient plus faibles avec de l'acétylène purifié. Des expériences en cours permettront de préciser cette question. L'étalon à acétylène débite seulement 7 litres à l'heure.

(1) C. FÉRY, *Journ. de Phys.*, 4^e série, t. VII, 1908, p. 632.

(2) *Journ. de Phys.*, 2^e série, t. II, 1883, p. 64.

(3) Bien que l'acétate de cuivre paraisse donner les meilleurs résultats, l'expérience très simple suivante montre l'énorme absorption des sels de cuivre pour les radiations de grande longueur d'onde. 1 g de cuivre est dissous dans la quantité exactement nécessaire d'acide azotique, puis on étend à 1000 cm³. En utilisant un bec Bengel, l'effet donné par ce liquide, dont la coloration est à peine sensible et la concentration aussi faible, est 0,77 fois moindre que l'effet de l'eau pure placée dans les mêmes conditions, ce qui conduit à une augmentation de l'absorption de 29,6 pour 100.

(4) Nous devons ce cliché à l'obligeance de M. Monpillard.

dérable que celle des *sels minéraux* du même métal, est un fait très important, que nous avons établi également à l'aide d'un spectrographe à réseaux de Rowland, en utilisant le spectre de l'arc au fer.

Acétate de cuivre. Solution aqueuse à 7 pour 100, épaisseur 10^{mm}.

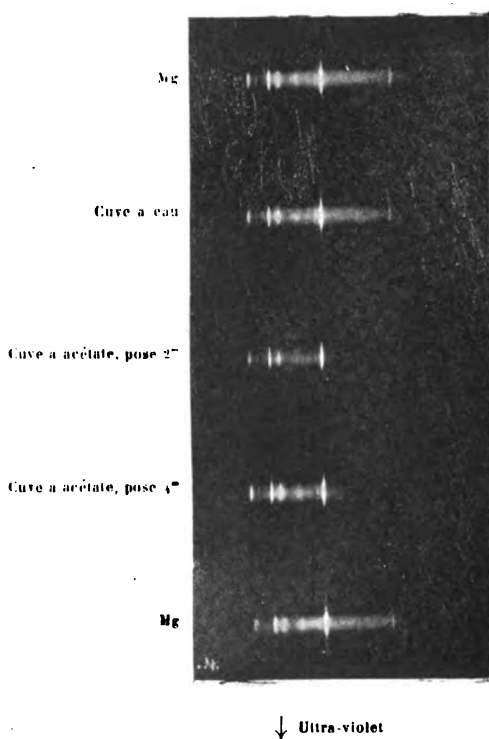


Fig. 3.

» Le choix du titre de cette solution a été fait d'après des considérations que nous développerons un peu plus loin.

» Des déterminations spectrophotométriques ont permis de constater que la cuve d'acétate absorbait déjà le rouge extrême du spectre.

» On a pu tracer, en fonction de la longueur d'onde :

» 1^o Le rapport de l'intensité de la lumière qui tombe sur la cuve à celle qui passerait s'il n'y avait que de l'acétate de cuivre seul comme absorbant (courbe I, *fig. 3 bis*);

» 2^o Le rapport de l'intensité initiale à celle qui passe à travers la cuve pleine d'acétate, sans faire aucune correction de l'absorption due au verre (courbe II, *fig. 3 bis*).

» Ces résultats peuvent permettre d'obtenir l'absorption de l'acétate de cuivre en faisant une correction qui tienne compte de l'action du verre de la cuve et du dissolvant qui est ici l'eau.

» Par exemple, si l'on considère la valeur du rapport des intensités lumineuses après et avant le passage dans la cuve, on trouve, pour la longueur d'onde de Langley $0,54 \mu$, le nombre $0,65$; il y a

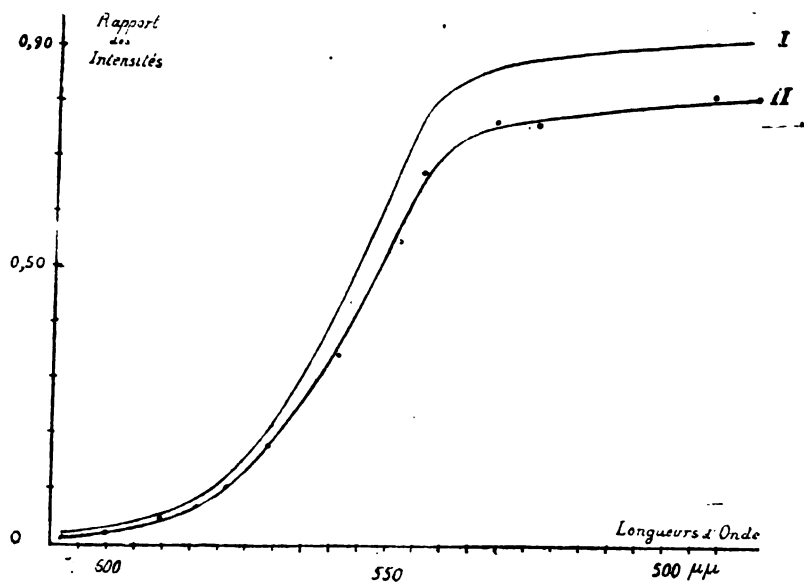


Fig. 3 bis.

donc eu 35 pour 100 de lumière absorbée par l'acétate seul.

» Cependant, avec une telle absorption, il ne sort guère de la cuve plus de $0,1$ pour 100 (bec Bengel) à $0,4$ pour 100 (bec Aüer) de l'énergie totale reçue. Le problème était donc ramené à réaliser un dispositif bolométrique suffisamment sensible pour apprécier encore cette faible énergie, et cependant assez robuste pour trouver place dans la salle d'essais photométriques. On emploie alors un micro-radiomètre ainsi construit :

» Un cadre cuivre-constantan (*fig. 4*) est suspendu par une lame très mince de bronze phosphoreux dans le champ d'un aimant NS. Les deux soudures du couple *c*, placées à la même hauteur et côte à côte (afin d'éviter les variations de température de la salle d'expériences), sont constituées par deux lames d'argent de $0,3 \text{ mm}$ d'épaisseur et ayant la forme d'un rectangle dont les côtés ont 6 mm et

12 mm. L'une des faces de ces lames est noircie au noir de platine et l'autre polie ⁽¹⁾. Pour rendre à l'appareil la sensibilité que lui fait perdre l'énorme absorption de la cuve, on emploie une lentille

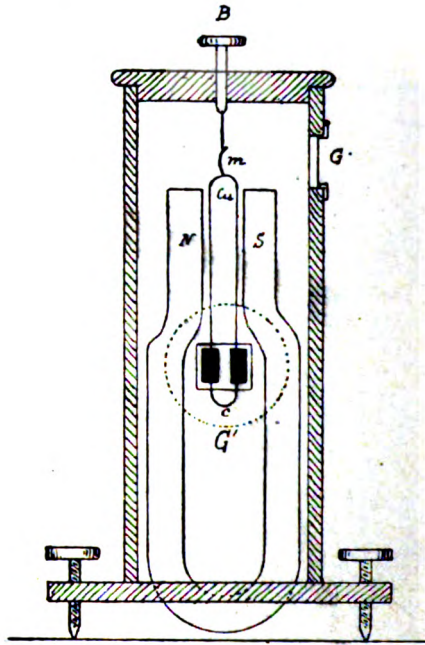


Fig. 4.

de concentration L (fig. 5). On peut alors réduire la sensibilité à l'aide de diaphragmes d'ouvertures différentes D si les sources de lumière sont trop intenses.

» La mise au point n'est pas nécessaire ; *il faut seulement que tout le flux lumineux sortant de la cuve soit occulté par la plaquette d'argent.*

» Le couvercle du système est une cloche épaisse en cuivre rouge dont la bonne conductibilité calorifique tend à former une enceinte isotherme, malgré les rayonnements parasites qui peuvent frapper l'instrument. Cette cloche porte une ouverture fermée par une glace parallèle G (fig. 4) qui laisse pénétrer le rayon lumineux incident et qui laisse sortir le rayon, nécessaire pour la lecture de la déviation, réfléchi sur le miroir m porté par le cadre. Les réglages de la hauteur et de l'orientation de ce cadre sont commandés

(1) Ainsi disposé, le système sans cuve absorbante donne 500 mm de déviation sur une échelle placée à 2 m, quand une des soudures reçoit 1 bougie-mètre.

à l'aide du bouton B (*fig. 4*) par la tige de suspension, glissant et tournant dans un tube à frottement. La lentille L est placée à hauteur de la glace parallèle G' fixée également au couvercle métallique de l'appareil. La cuve absorbante (*fig. 5*) est placée entre la lentille L et la glace G'.

» Même construit dans de bonnes conditions d'amortisse-

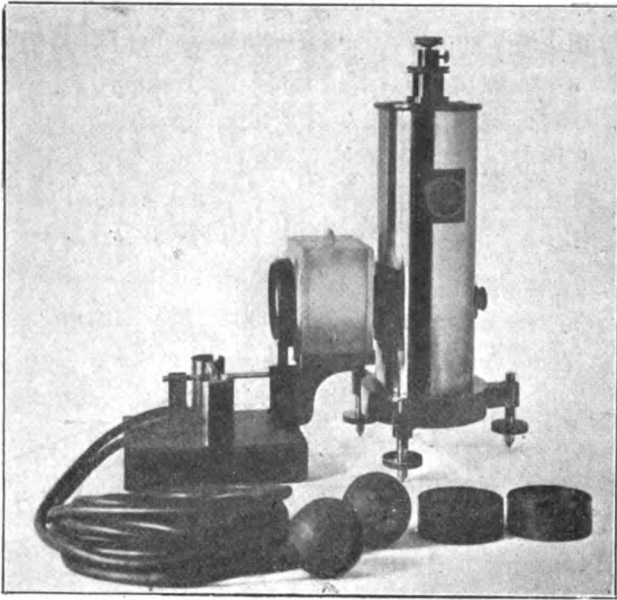


Fig. 5.

ment, l'appareil a un zéro qui se déplace lentement ; cependant la vitesse du spot sur l'échelle ne dépasse jamais quelques millimètres par minute. Afin d'éliminer cette cause d'erreur, on utilise *alternativement* les deux plaquettes d'argent comme soudure chaude, ce qui a en outre l'avantage de doubler la déviation. Dans ce but la lentille L (*fig. 6*) peut être déplacée à distance par deux poires en caoutchouc (*fig. 5*) de manière à amener successivement l'image sur les deux soudures. Pour régler l'appareil, on fait tomber la lumière concentrée par la lentille sur une des soudures ; pour rendre le réglage plus commode, on a collé au dos des deux lamelles d'argent aussi identiques que possible une feuille de papier qui permet de voir [à l'aide d'un œillette percé dans la cloche en cuivre que montre la vue d'ensemble de l'appareil (*fig. 5*)] s'il ne tombe pas de lumière en dehors de la surface noircie. Cette feuille de papier sert.

12 mm. L'une des faces de ces lames est noircie au noir de platine et l'autre polie ⁽¹⁾. Pour rendre à l'appareil la sensibilité que lui fait perdre l'énorme absorption de la cuve, on emploie une lentille

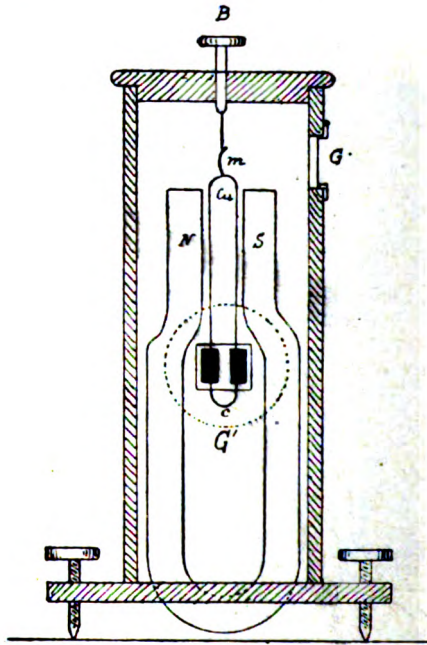


Fig. 4.

de concentration L (fig. 5). On peut alors réduire la sensibilité à l'aide de diaphragmes d'ouvertures différentes D si les sources de lumière sont trop intenses.

» La mise au point n'est pas nécessaire ; *il faut seulement que tout le flux lumineux sortant de la cuve soit occulté par la plaquette d'argent.*

» Le couvercle du système est une cloche épaisse en cuivre rouge dont la bonne conductibilité calorifique tend à former une enceinte isotherme, malgré les rayonnements parasites qui peuvent frapper l'instrument. Cette cloche porte une ouverture fermée par une glace parallèle G (fig. 4) qui laisse pénétrer le rayon lumineux incident et qui laisse sortir le rayon, nécessaire pour la lecture de la déviation, réfléchi sur le miroir m porté par le cadre. Les réglages de la hauteur et de l'orientation de ce cadre sont commandés

(1) Ainsi disposé, le système sans cuve absorbante donne 500 mm de déviation sur une échelle placée à 2 m, quand une des soudures reçoit 1 bougie-mètre.

à l'aide du bouton B (*fig. 4*) par la tige de suspension, glissant et tournant dans un tube à frottement. La lentille L est placée à hauteur de la glace parallèle G' fixée également au couvercle métallique de l'appareil. La cuve absorbante (*fig. 5*) est placée entre la lentille L et la glace G'.

» Même construit dans de bonnes conditions d'amortisse-

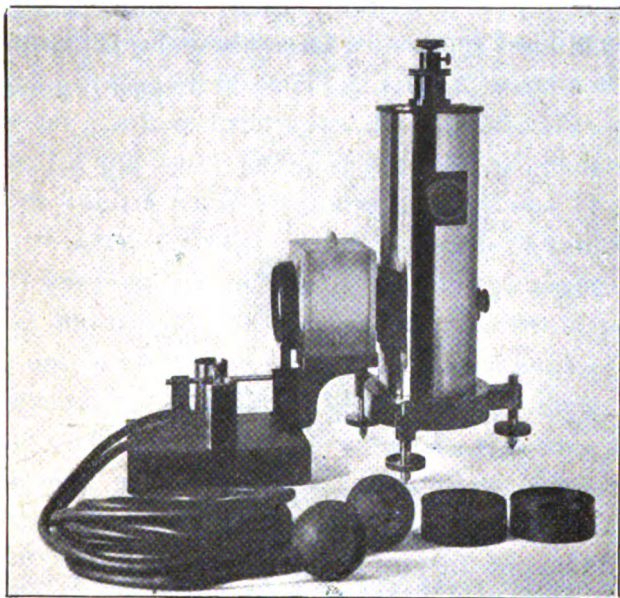


Fig. 5.

ment, l'appareil a un zéro qui se déplace lentement ; cependant la vitesse du spot sur l'échelle ne dépasse jamais quelques millimètres par minute. Afin d'éliminer cette cause d'erreur, on utilise *alternativement* les deux plaquettes d'argent comme soudure chaude, ce qui a en outre l'avantage de doubler la déviation. Dans ce but la lentille L (*fig. 6*) peut être déplacée à distance par deux poires en caoutchouc (*fig. 5*) de manière à amener successivement l'image sur les deux soudures. Pour régler l'appareil, on fait tomber la lumière concentrée par la lentille sur une des soudures ; pour rendre le réglage plus commode, on a collé au dos des deux lamelles d'argent aussi identiques que possible une feuille de papier qui permet de voir [à l'aide d'un œilleton percé dans la cloche en cuivre que montre la vue d'ensemble de l'appareil (*fig. 5*)] s'il ne tombe pas de lumière en dehors de la surface noircie. Cette feuille de papier sert.

à une mise au point approchée de l'image quand on fait tomber cette dernière entre les deux soudures ⁽¹⁾. Pour éviter le rayonnement par l'envers des lames d'argent, ce papier est recouvert, du côté non collé aux lames, d'une mince couche d'étain brillant.

» Pour que les résultats soient comparables il faut que toutes les lampes en étude soient toujours disposées à une distance uniforme de 1 m de la lentille de concentration. La cuve absorbante étant mise en place, on utilise l'appareil en faisant basculer la lentille entre les deux butées v et v' (*fig. 6*), à l'aide du dispositif précédemment

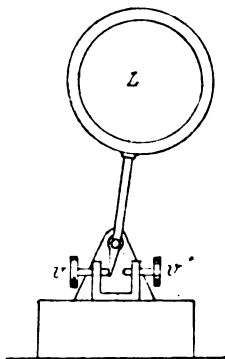


Fig. 6.

décrit; cette opération est répétée à *des intervalles de temps égaux* de l'ordre de la demi-minute ou *de la minute* suivant le degré d'amortissement de l'appareil. Les déplacements du zéro se trouvent ainsi éliminés. En faisant, à chaque opération, la lecture de la position du spot sur l'échelle et en déterminant la moyenne d'un nombre pair de différences de déviation lues, tant dans un sens que dans l'autre, on a le nombre qui caractérise la source de lumière. Les rapports de ces nombres caractéristiques pour plusieurs sources sont les *rapports photométriques* de ces luminaires.

» Comme, dans les limites d'emploi de l'appareil, les déviations sont proportionnelles aux intensités lumineuses, nous avons étalonné le photomètre à lecture directe à l'aide d'une lampe à incandescence à filament de charbon qui, pour une intensité lumineuse normale de 25,1 bougies, donnait un déplacement du spot de

(1) Il est prudent pour faire le réglage de prendre une source peu intense telle qu'une bougie, ou de placer la cuve remplie d'eau.

66,5 mm. Pour avoir l'intensité lumineuse d'une source de lumière il suffisait donc de multiplier la déviation de l'appareil par sa *constante*, soit $\frac{25,1}{66,5} = 0,378$ bougie par millimètre de déviation.

» Ces mesures, qui nous ont amené à comparer des sources de teintes très variables, le régime de la lampe ayant varié entre 26 et 84 watts, ont montré que c'est pour une solution d'acétate de cuivre à 17 g pour 1000 cm³ de solution et sous une épaisseur de 4 cm que le radiomicromètre, que nous employions comme photomètre, présente une sensibilité comparable à celle d'un œil normal.

» Suivant que la concentration de la solution est plus élevée ou moins élevée que le titre indiqué, la courbe photométrique obtenue croît plus vite ou moins vite avec les watts que la courbe photométrique exacte. Pour déterminer le titre de la solution qui donne les meilleurs résultats, nous avons effectué un grand nombre d'expériences en utilisant deux sources de lumière de couleurs différentes : une lampe à filament de charbon peu poussée, donnant une lumière rouge, et une lampe à filament métallique très poussée donnant une lumière très riche en radiations bleues et violettes.

» Partant d'une solution d'acétate de cuivre à 50 g par litre, on la diluait de plus en plus jusqu'à ce que le rapport photométrique des deux lampes fût le même que le rapport photométrique observé directement par les procédés ordinaires.

» Cependant la méthode photométrique usuelle n'étant pas très précise et étant certainement bien moins sensible que la méthode du photomètre à lecture directe, on n'obtenait ainsi qu'une valeur approchée de la concentration de la solution.

» Si, en effet, on déterminait expérimentalement les courbes donnant les intensités lumineuses horizontales d'une lampe à charbon en fonction de la puissance : 1° à l'aide d'un photomètre Lummer et Brodhun et de l'œil; 2° au moyen du photomètre à lecture directe dans lequel on utilisait la solution précédente, on pouvait constater que la première courbe (P. L. B) était au-dessus de la deuxième courbe (P. L. D.) pour les faibles puissances et au-dessous pour les fortes puissances, c'est-à-dire que les deux courbes se coupaient pour une valeur moyenne de la puissance. Dans ces conditions, le photomètre à lecture directe favorisait les foyers lumineux à teinte rouge.

» Une légère modification du titre de la solution amenait alors la coïncidence des deux courbes précédentes, c'est-à-dire qu'à ce moment le photomètre à lecture directe donnait, pour les sources de lumière riches en radiations très différentes, le même résultat que la rétine.

» Le titre ainsi déterminé fut de 17 g d'acétate de cuivre par litre.

» Il y a lieu de faire remarquer que si l'on calcule la consommation spécifique pour le régime normal évalué, par exemple, en watts par bougie, celle-ci paraît trop élevée; elle est de 3,73 watts par bougie pour la lampe au charbon et de 1,46 watt par bougie pour la lampe au tungstène.

» Nos déterminations se rapportant à des lampes usagées, ce résultat n'a rien d'étonnant en soi et n'a qu'une importance très relative, puisqu'il ne peut pas changer les lois que nous avons en vue d'établir, mais simplement des coefficients numériques. Cependant, nous avons obtenu pour des lampes neuves les résultats suivants :

Watts.	Watts par bougie.	
	Lampe à charbon.	Lampe Z à tungstène.
28.....	»	4,78
30.....	8,53	4,51
40.....	5,04	2,48
50.....	3,76	1,74
60.....	2,69	1,31
70.....	1,83	1,06
76.....	»	0,95

» Ce qui conduit, pour le *régime normal* des lampes, à :

Lampes.	Volts.	Bougies.	Watts par bougie.
A charbon.....	25	16 (15,4)	3,44
A tungstène.....	110	50 (52,7)	1,21

» Le nombre indiqué entre parenthèses est le nombre exact trouvé, l'autre étant l'indication du constructeur.

» Les rendements spécifiques indiqués dans la troisième colonne cadrent bien avec les résultats pratiques connus et, en particulier, avec les observations récentes de M. Laporte (*loc. cit.*).

» 3^o *Mesure de la puissance électrique.* — La puissance électrique consommée dans les lampes à incandescence essayées était mesurée avec un ampèremètre et un voltmètre de précision de la Compagnie des Compteurs. D'après la résistance des appareils, soigneusement vérifiés, il n'y avait aucune correction sensible à faire, tenant compte du montage des appareils et, par conséquent, de leur consommation.

» La précision et la lecture des appareils de mesure étaient suffisantes pour qu'on n'ait pas à craindre d'erreur sensible sur la puissance, erreur qui peut être, au maximum, la somme des erreurs sur les déviations du voltmètre et de l'ampèremètre; on s'arrangeait d'ailleurs pour que l'indication du voltmètre fût toujours un nombre entier.

III. — RÉSULTATS DE L'ÉTUDE SUR LA LAMPE A CHARBON.

» 1^o *Relation entre la température du filament et la puissance.* — Les résultats des essais faits avec deux lampes Gérard de 25 volts (1) sont consignés dans les Tableaux suivants :

Lampe n^o 1.

Volts.	Ampères.	(W) Watts.	δ pyromètre optique.	t (vulg.).	T (abs.).	T^4	$\frac{W}{T^4}$
14,2	1,18	16,8	70	1270 ^o	1543 ^o	5,14.10 ¹²	3,06.10 ⁻¹²
16,0	1,34	21,4	61	1365	1638	7,20	2,97
18,0	1,51	27,0	51	1480	1753	9,50	2,84
20,0	1,685	33,7	43	1575	1848	11,75	2,87
22,0	1,86	40,8	37	1660	1933	14,00	2,92
24,0	2,04	48,9	31,5	1740	2013	16,40	2,97
25,0	2,12	53,0	29	1780	2053	17,80	2,98
27,0	2,29	61,8	24,5	1860	2133	20,60	3,00
29,0	2,46	71,4	20,5	1930	2203	23,50	3,01
Moyenne.....							2,96.10 ⁻¹²

(1) Ces lampes à bas voltage ont nécessairement un gros filament, ce qui est particulièrement avantageux pour les pointés au pyromètre optique.

Lampe n° 2 (1).

6,1	1173 ⁰	1,96.10 ¹²	3,12.10 ⁻¹²
8,2	1273	2,62	3,12
11,0	1373	3,53	3,12
14,3	1473	4,70	3,02
18,2	1573	6,14	2,98
22,4	1673	7,85	2,86
27,6	1773	9,80	2,82
34,8	1873	12,30	2,83
42,45	1973	15,10	2,82
51,29	2073	18,50	2,77
61,59	2173	22,25	2,77
Moyenne.....			2,93.10 ⁻¹²

» On remarque immédiatement que la loi très simple

$$(8) \quad W = \alpha T^2,$$

α étant un coefficient très voisin de 3.10^{-12} , représente très exactement la relation cherchée. Si l'on calcule, en effet, les températures pour la première lampe avec la moyenne $2,96.10^{-12}$ pour le coefficient α , on a les valeurs suivantes qui ne diffèrent des températures vraies que de l'erreur expérimentale :

W.	$T^2 = \frac{W}{2,96.10^{-12}}$	T (absolue).		Différence.
		Calculée.	Observée.	
21,4	7,24	1630 ⁰	1638 ⁰	0
27,0	9,12	1760	1753	+ 7
33,7	11,72	1846	1848	- 2
40,8	13,80	1930	1933	- 3
48,9	16,50	2015	2013	+ 2
53,0	17,90	2055	2053	+ 2
61,8	20,90	2135	2133	+ 2
71,4	24,10	2215	2203	+ 12

» La courbe C (*fig. 7*) représente graphiquement la relation précédente, dans laquelle la température absolue T est la température vraie du filament. Cette relation (8) montre que les pertes par conductibilité et convection deviennent négligeables quand la

(1) Voir Thèse de M. FÉRY, Rayonnement calorifique et lumineux de quelques oxydes (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 7^e série, t. XXVII, p. 433, 1902).

température du filament atteint 1500° à 1900°. L'énergie rayonnée par le charbon, agissant comme un corps noir, est en effet propor-

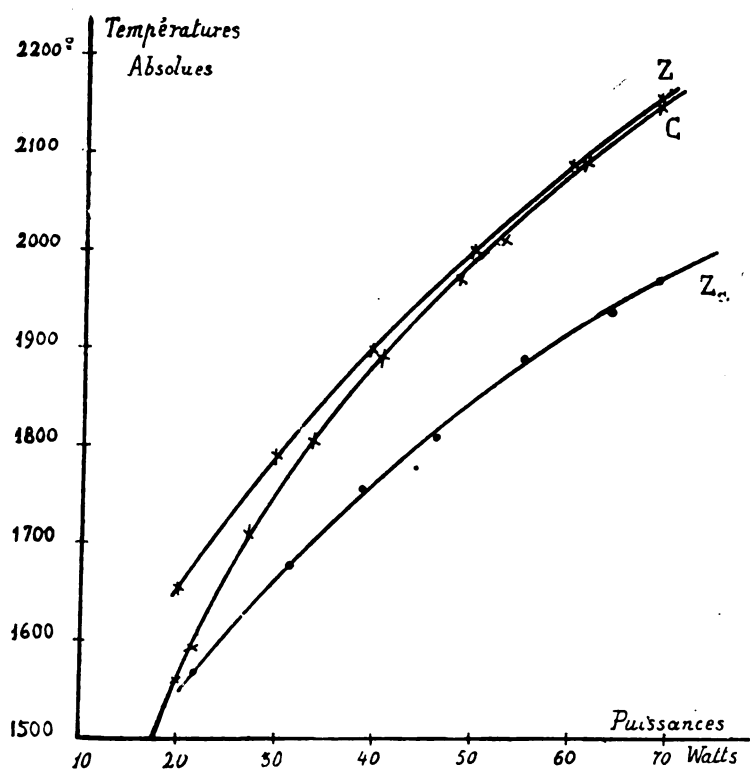


Fig. 7.

tionnelle à la quatrième puissance de la température absolue, comme le veut la loi de Stefan (1).

(1) Les pertes par conductibilité sont évidemment proportionnelles à l'excès de la température du filament sur celle de ses supports. Or, ce filament n'a que 0,03 mm de diamètre, et sa longueur est très grande (20 cm; dans la bouche à filament métallique, elle atteint 60 cm), ce qui fait que cette perte est petite.

D'autre part, il est bien probable que les calories entraînées par convection sont sensiblement proportionnelles au carré de l'excès de la température de l'ampoule sur l'air ambiant. Dans un travail remarquable, sur la détermination de l'équivalent mécanique de la lumière (*Journ. de Phys.*, 4^e série, t. VII, 1908, p. 872), le Dr Drysdale a montré expérimentalement que cette perte n'est que de 1 à 2 pour 100 de l'énergie totale dissipée par la lampe. Il se servait pour cela d'un calorimètre spécial recevant le courant d'air chaud qui s'élève au-dessus de l'ampoule.

La formule la plus générale représentant le phénomène complexe paraît donc être $W = aT^3 + bT^2 + cT$ en négligeant t , température ambiante, devant T , T^2 et T^3 , et dans cette formule le seul terme important est le premier.

» 2^o *Essai de représentation de la fonction $I = f(W)$, dans laquelle I représente l'intensité lumineuse et W la puissance* (1).

» On admet généralement que cette fonction est de la forme

$$(9) \quad I = kW^3.$$

» Mais cette loi de proportionnalité de l'intensité lumineuse au cube des watts est tout à fait empirique, et, si elle rend des services au point de vue pratique, elle n'est exacte qu'au voisinage du régime normal de la lampe.

» Nous avons pensé que cette fonction est plutôt de la forme exponentielle.

» On a en effet

$$(10) \quad I = Ae^{-\frac{B}{T}}.$$

» Cette relation serait tout à fait exacte si l'on se contentait de mesurer I par l'évaluation de la longueur d'onde de Langley $\lambda = 0,54$, car on aurait la loi de rayonnement monochromatique. Cependant, si l'on remarque que dans la formule du rayonnement monochromatique [formule (4), p. 658]

$$(11) \quad I = C\lambda^{-5}e^{-\frac{c}{\lambda T}},$$

le produit λT est constant, d'après la loi du déplacement, et que, d'autre part, le produit $C\lambda^{-5}$ ne doit guère varier dans les limites d'emploi des lampes, la formule (10) a des chances de se vérifier.

» En combinant les équations (8) et (10), on arriverait donc à la relation

$$(12) \quad I = Ae^{-\frac{B}{\sqrt{W}}}.$$

» Pour vérifier cette relation *dans de larges limites*, nous avons employé les divers moyens précédemment décrits, et les résultats

(1) Dans toutes nos expériences, il s'agit seulement des intensités horizontales. D'après M. Laporte, pour une lampe à filament métallique, l'intensité horizontale est à peu près la même dans toutes les directions, en supposant l'axe de la lampe vertical.

Pour obtenir l'intensité moyenne sphérique qui caractérise réellement la lampe au point de vue photométrique, il suffit de multiplier l'intensité horizontale par un facteur qui, pour la lampe Z, est environ 0,77. Nos expériences n'ont d'ailleurs pas été faites au point de vue unique de la photométrie.

sont consignés dans le Tableau suivant, que représente graphi-

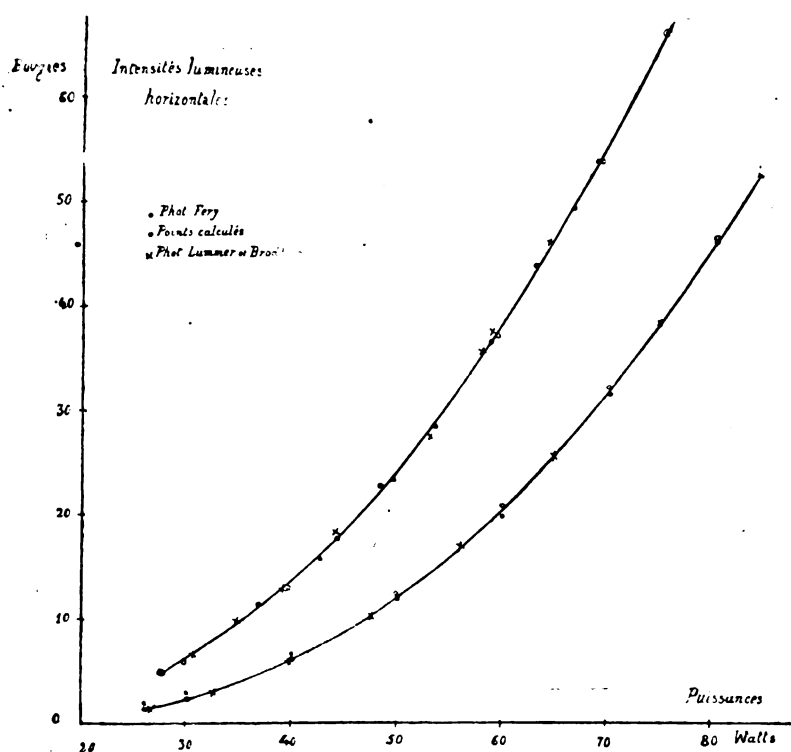


Fig. 8.

quement la courbe C (fig. 8).

W.	$\sqrt{W}$.	I.		Différence pour 100.
		Calculée.	Observée.	
26 watts	2,25	1,4 bougie	1,4 bougie	0
30 —	2,34	2,3 —	2,3 —	0
40 —	2,51	5,97 —	6,0 —	-0,5
50 —	2,66	12,3 —	11,9 —	+3,1
60 —	2,78	20,7 —	20,3 —	+2,0
70 —	2,89	32,2 —	31,8 —	+1,2
80 —	2,99	46,3 —	46,0 —	+0,7
81 —	3,02	52,4 —	52,4 —	0

» La concordance est donc très bonne entre l'expérience et la théorie. La formule

$$(13) \quad I = 2,08 \cdot 10^6 e^{-\frac{32,05}{\sqrt{W}}}$$

est caractéristique de la lampe à filament de charbon étudiée (1).

» On peut évidemment vérifier encore l'exactitude de l'équation (12) ou (13) en portant sur un diagramme en abscisses $\frac{1}{\sqrt{W}}$ et en ordonnées $\log I$.

» On doit avoir, comme représentation graphique, une ligne droite et l'on a, en effet, aux erreurs d'expériences près,

$$(14) \quad \log I = 6,327 - 13,9 \left(\frac{1}{\sqrt{W}} \right).$$

IV. — ÉTUDE SUR LA LAMPE A FILAMENT MÉTALLIQUE.

» Nous avons pris une lampe à filament de tungstène de Lacarrière, dénommée dans le commerce *lampe Z*.

» Dans une lampe à filament métallique où le pouvoir émissif ne peut pas être égal à l'unité, comme pour le corps noir, il ne faut pas s'attendre à voir s'appliquer la loi du rayonnement total en T^4 .

(1) Nous avons trouvé dans les expériences de M. Laporte une confirmation de la formule exponentielle

$$I = A e^{-\frac{B}{\sqrt{W}}}$$

pour la lampe à filament de charbon. De ses résultats photométriques sur une lampe de 110 volts, 20 bougies (*loc. cit.*, p. 115), on peut déduire en effet la relation

$$I = 1,765 e^{-\frac{34,19}{\sqrt{W}}},$$

et le Tableau suivant montre qu'elle se vérifie lorsque la *puissance électrique augmente dans le rapport de 1 à 5* et l'*intensité lumineuse dans le rapport de 1 à 160*.

W.	I.		Différence pour 100.
	Observée.	Calculée.	
28,8	0,7	0,7	0
38,5	1,85	1,96	-5,5
50,1	4,53	4,69	-3,4
63,45	9,77	9,80	-0,3
78,2	18,2	18,2	0
94,3	30,5	30,7	-0,6
112,5	48,6	49,3	-1,4
132	74,8	74,1	+0,9
154,4	110	110	0

» Nous avons donc d'abord cherché à nous rapprocher des conditions de rayonnement du métal de la lampe, en étudiant au préalable le rayonnement d'un métal agissant, de même que le tungstène, comme un corps gris, et nous avons pris le métal le plus commode pour cette expérimentation, le platine.

» Il resterait, en effet, une grande indécision dans l'évaluation même approchée de la température du filament de tungstène de la lampe, si l'on supposait son rayonnement égal à celui du charbon.

» La mesure au pyromètre optique donnerait une valeur de cette température qui serait certainement inférieure à la vraie température, le pouvoir émissif de tungstène étant très probablement plus petit pour la radiation choisie ($\lambda = 0,629 \mu$) que celui du charbon.

» D'autre part, l'énergie totale radiée doit pouvoir être représentée par une relation de la forme

$$(15) \quad W = a_1 T^x.$$

» Si, en effet, nous avions affaire au charbon, nous aurions, d'après nos résultats précédemment donnés,

$$W = a T^3.$$

» Si le fil de tungstène a un pouvoir émissif plus petit que le fil de charbon, il faudra nécessairement avoir dans la formule (15) $x > 4$, puisque a_1 est plus petit que a .

» Mais, comme a_1 est mal connu, aucune hypothèse ne permet de déterminer x , *a priori*. Nous avons pensé que l'étude d'un métal inoxydable, pouvant être chauffé à l'air, nous donnerait l'ordre de grandeur du coefficient a_1 et de l'exposant x pour une surface métallique à pouvoir réflecteur élevé.

» 1° *Étude du rayonnement du platine.* — *a. Rayonnement monochromatique.* — Un couple Le Chatelier a été chauffé graduellement dans un four électrique à résistance ne présentant qu'une petite fissure permettant d'en prendre la température à l'aide du pyromètre optique, déjà gradué sur le corps noir. Ainsi *étalonné*, ce couple fut chauffé dans un bec Méker à air soufflé qui permit de le porter de 950° à 1530°. L'obtention de chaque température se faisait très simplement en agissant sur le robinet du tuyau d'arrivée

du gaz, le débit de l'air soufflé, sous une pression de 1 kg : cm² environ, restant constant.

» A chaque température indiquée par le couple, on peut ainsi déterminer la division donnée par le pyromètre pointé sur le platine. Voici les résultats obtenus pour la graduation du pyromètre optique à l'aide du platine (températures vraies); on a d'ailleurs reproduit dans ce Tableau les résultats obtenus avec le four considéré comme un corps noir (températures apparentes données par le couple) :

Déviation du pyromètre optique (1 verre à la lampe étalon).	Températures vulgaires t .	
	Corps noir.	Platine.
20	1940°	2150°
30	1765	1948
40	1618	1775
50	1488	1621
60	1374	1488
70	1273	1374
80	1181	1276
90	1100	1192

» Ce Tableau permet d'ailleurs de calculer le pouvoir émissif du platine, en fonction de celui du corps noir pris comme unité, pour chaque température et pour la longueur d'onde $\lambda = 0,629 \mu$ du verre rouge oculaire de l'appareil (1).

Températures vulgaires.	$\frac{I_{\lambda r}(\text{platine})}{I_{\lambda r}(\text{corps noir})}$
970°	0,297
1200	0,328
1300	0,356
1400	0,363
1500	0,363
1600	0,356
1700	0,349
1780	0,349

» Nous avons trouvé ainsi que le platine obéit bien à une loi de

(1) De ce Tableau, il semble résulter que le pouvoir émissif du platine tend vers la valeur 0,36 quand la température s'élève; on sait que le rapport des pouvoirs émissifs est beaucoup plus petit aux basses températures [0,1 à 120°, d'après de la Provostaye et Desains (*Ann. de Chim. et de Phys.*, 3^e série, t. XXII, 1848, p. 358)].

rayonnement monochromatique représentée par l'équation

$$I_{\lambda} = A e^{-\frac{B}{T}},$$

où T est la température absolue; ce qui conduit à une hyperbole ⁽¹⁾

$$(16) \quad \delta = 2,79 e^{\frac{3822}{T}}$$

pour la courbe de graduation du pyromètre optique sur le platine et à une droite

$$(17) \quad \delta = -71,6 + \frac{177833}{T}$$

si l'on porte $\frac{1}{T}$ en ordonnées et la déviation δ de l'appareil en abscisses ⁽²⁾.

» *b. Détermination du pouvoir émissif pour la radiation totale.* — Le pyromètre optique, étant étalonné par rapport au platine, va maintenant nous permettre de mesurer la température d'un manchon en toile de platine chauffé sur un bec Meker à air soufflé. Si, au moment où l'on détermine la température à l'aide du pyromètre optique, on mesure au moyen d'un télescope pyrométrique à miroir doré ⁽³⁾ la radiation totale, on pourra déterminer la loi qui la relie à la température absolue du métal radiant. On pourra même mesurer la température de ce dernier au moment de sa fusion. Voici le résultat de ces mesures :

Températures de la toile de platine.		Déviations δ du télescope pyrométrique en millivolts.	$T^{0,6}$.	$\frac{\delta}{T^{0,6}}$.
t° vulgaires.	T° absolus.			
1020	1293	0,168	2,04.10 ¹³	0,082.10 ⁻¹³
1110	1383	0,240	2,82	0,085
1200	1473	0,320	3,72	0,084
1290	1563	0,414	4,90	0,083
1385	1658	0,532	6,16	0,086
1470	1743	0,680	7,94	0,086
Moyenne				0,0845.10 ⁻¹³

(1) Si l'on porte $\log \delta$ en abscisses et $\frac{1}{T}$ en ordonnées, on a

$$\log \delta = 0,446 + \frac{1659}{T}.$$

(2) Avec un verre rouge de Schott, d'Iéna, laissant passer la radiation $\lambda = 641 \mu\mu$, on a trouvé une courbe légèrement différente. Mais ce nouvel étalonnage ne modifie pas les résultats acquis à l'aide du premier.

(3) C. FÉRY, *Journ. de Phys.*, 4^e série, t. III, 1904, p. 701.

» Ces résultats permettent donc de donner la formule suivante reliant la déviation δ du pyromètre à radiation totale à la température absolue :

$$(18) \quad \delta = k T^{3.6}.$$

» Or, l'énergie radiée est elle-même proportionnelle à la déviation δ ,

$$(19) \quad W = k' \delta.$$

» Des deux équations précédentes (18) et (19) on tire donc

$$(20) \quad W = a_1 T^{3.6}$$

avec la valeur $k'.0,0845.10^{-11}$ pour le pouvoir émissif a_1 ⁽¹⁾.

» *L'énergie totale est donc, pour le platine, proportionnelle à la puissance 3,6 de la température absolue.*

» Le point de fusion du platine obtenu à l'aide de l'étalonnage du pyromètre optique a été trouvé de 1740° ⁽²⁾; ce qui est un nombre suffisamment exact, étant donné que nos expériences mettent nettement en évidence une différence de 30° à 40° sur ce point de fusion; cette différence est due surtout à la nature du milieu gazeux dans lequel se produit la fusion et non à une variation du pouvoir émissif du platine près de sa fusion ⁽³⁾.

» 2° *Étude du rayonnement de la lampe Z. — a. Relation entre la température du fil de tungstène et la puissance.* — On peut admettre que cette relation est de la forme

$$(21) \quad W = a_1 T^{3.6},$$

c'est-à-dire qu'on a le même coefficient α pour le tungstène que pour le platine. En effet, on trouve, au moyen du pyromètre optique.

(1) Comme nous admettons que le tungstène se comporte comme le platine, la valeur de a_1 pour le platine, dans le vide, ne doit pas être très différente de celle que nous avons trouvée pour le tungstène dans le vide et que nous donnons plus loin comme égale à $2,93.10^{-14}$.

(2) C. FÉRY et C. CHÉNEVEAU, *Comptes rendus*, t. CXLVIII, 1909, p. 401.

(3) Ce fait explique en grande partie les divergences des résultats obtenus par les divers auteurs qui se sont occupés de cette question (limites 1710° - 1780°).

étalonné sur le corps noir, que la température du filament en fonction des watts est T_1 ; qu'elle est T_2 avec le pyromètre optique étalonné à l'aide du platine. On peut donc dresser le Tableau suivant, qui montre qu'il y a un rapport sensiblement constant entre la puissance électrique W et la puissance $4,6$ de la température absolue vraie T_2 :

W .	T_1 .	T_2 .	$\text{Log } a_1$.	$\frac{W}{T_2^{4,6}}$.
20	1590°	1699°	-13,56	$2,77 \cdot 10^{-14}$
30	1704	1831	-13,52	2,94
40	1804	1943	-13,53	3,00
50	1890	2041	-13,51	2,98
60	1955	2125	-13,53	2,96
70	2020	2201	-13,51	2,95
Moyenne.....			-13,53	$2,93 \cdot 10^{-14}$

» En admettant pour a_1 la valeur moyenne ainsi trouvée $2,93 \cdot 10^{-14}$ on a :

W .	T_2 .		Différence.
	Observée.	Calculée.	
30	1831°	1830°	-1°
40	1943	1948	+5
50	2041	2045	+4
60	2125	2127	+2
70	2201	2200	-1

» La loi précédente est donc très bien vérifiée. Elle montre que le pouvoir émissif du tungstène ne diffère pas beaucoup de celui du platine.

» On voit sur la figure 7 les courbes représentatives de la température apparente T_1 (courbe Z_a) et de la température vraie T_2 (courbe Z) en fonction des watts dépensés.

» L'écart entre les deux courbes montre l'erreur que l'on commettrait si, au lieu de prendre la température à l'aide du pyromètre optique gradué sur le platine, on la prenait à l'aide du même pyromètre étalonné sur un corps noir.

» La température vraie du filament de tungstène, pour le régime normal de la lampe (63,8 watts = 110 volts $\times$ 0,58 ampère) est donc 1875°, tandis que pour la lampe à charbon en régime normal (53 watts = 25 volts $\times$ 2,12 ampères) elle n'est que de 1780°.

» On voit, d'autre part, que les deux courbes Z et C tendent à se confondre pour les températures élevées, c'est-à-dire que le corps gris tend à devenir un corps noir.

» *b. Relation entre l'intensité lumineuse et la puissance.* — La lampe Z à filament de tungstène, que nous avons étudiée de la même façon que la lampe à filament de charbon, a fourni un accord également très satisfaisant entre la formule exponentielle et les valeurs expérimentales de l'intensité mesurées photométriquement par la méthode courante et au photomètre à la lecture directe.

» Si l'on admet que l'intensité I est de la forme

$$(22) \quad I = A e^{-\frac{B}{T}}$$

et que d'autre part, d'après le résultat précédent,

$$(23) \quad W = a_1 T^{3.6},$$

on aura la loi suivante pour l'intensité lumineuse de la lampe à filament métallique en fonction des watts dépensés :

$$(24) \quad I = A e^{-\frac{B}{3.6 \sqrt[3.6]{W}}}.$$

» Le Tableau suivant montre l'accord parfait entre la théorie et l'expérience :

$W.$	$\sqrt[3.6]{W.}$	$I.$		Différence pour 100.
		Observée.	Calculée.	
28 watts	2,063	4,8 bougies	4,8 bougies	0
30 —	2,094	6,0 —	5,85 —	+2,5
40 —	2,229	13,2 —	13,0 —	+1,5
50 —	2,340	23,6 —	23,3 —	+1,3
60 —	2,435	37,4 —	37,1 —	+0,8
70 —	2,518	54,0 —	53,7 —	+0,6
76 —	2,563	65,2 —	65,2 —	0

» La formule

$$(25) \quad I = 3,08 \cdot 10^6 e^{-\frac{27.63}{3.6 \sqrt[3.6]{W}}}$$

est donc caractéristique de la lampe à filament de tungstène.

» Elle est représentée graphiquement par la courbe Z (*fig. 8*). De même que pour la lampe à charbon, on voit pour la lampe à fila-

ment métallique la bonne concordance entre les points calculés et les points expérimentaux obtenus par le photomètre Féry ou par le photomètre de Lummer et Brodhun.

» Si l'on porte en ordonnées $\log I$ et en abscisses $\frac{1}{\sqrt[4]{W}}$ on a une ligne droite dont l'équation est

$$(26) \quad \log I = 6,488 - \frac{11,98}{\sqrt[4]{W}}.$$

V. — RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

» En résumé, l'application des lois du rayonnement, soit aux lampes à filament de charbon, soit aux lampes à filament métallique, conduit aux principaux résultats suivants que nous donnons dans le Tableau ci-dessous; on y a joint également quelques constantes de ces lampes :

	Lampe à incandescence à filament	
	de charbon.	métallique.
$W = a T^x$	$a = 2,95 \cdot 10^{-12}$	$2,93 \cdot 10^{-13}$
	$x = 4$	4,6
$I = A e^{-\frac{B}{\sqrt[4]{W}}}$	$A = 2,08 \cdot 10^6$	$3,08 \cdot 10^6$
	$B = 32,05$	27,63
	$x = 4$	4,6
Température vulgaire du filament en régime normal	1780°C.	1875°C.
Résistance ⁽¹⁾ en régime normal	11 ^ω ,78	189 ^ω ,8
Volts —	25	110
Ampères —	2,12	0,58
Watts dépensés —	53	63,8
Intensité lumineuse horizontale en bougies, en régime normal	15,4	52,7
Consommation spécifique en watts par bougie, en régime normal	3,44	1,21

» Il résulte de nos recherches que le charbon agit bien comme un corps noir et le tungstène comme un corps gris. Il est à peu près certain que les autres métaux constituant les filaments des lampes nouvelles donneraient des résultats analogues. Car, si l'on ne peut étudier les propriétés de ces filaments au point de vue du rayonne-

(¹) Pour la valeur de la résistance en fonction de la température, voir la Note I, p. 687.

ment à l'air libre, on peut aussi; comme pour le tungstène, les assimiler au platine et avoir, par conséquent, une idée de leur pouvoir émissif pour la radiation totale; on peut aussi connaître la puissance des températures absolues de ces filaments qui intervient dans la loi reliant ces températures aux puissances électriques absorbées correspondantes (1).

» Une étude spéciale de la lampe à filament de tantale ou de tout autre corps n'offrirait donc aucun intérêt autre que celui de vérifier également des lois générales (2).

» Nos expériences confirment et expliquent les résultats photométriques déjà obtenus en pratique dont le plus important est le suivant : la consommation spécifique en watts par bougie est bien plus faible pour la lampe à incandescence à filament métallique que pour la lampe à filament de charbon.

» L'explication en est simple puisque la température du filament métallique est plus élevée que celle du filament de charbon en ne

(1) La structure des filaments ayant servi tend à devenir granulaire. Il est possible que ce fait explique que le pouvoir émissif du tungstène est presque identique à celui d'un corps noir.

(2) D'ailleurs les résultats photométriques publiés par M. Laporte (*loc. cit.*, p. 114) pour la *lampe à filament de tantale* nous permettent de voir si l'intensité de cette lampe suit bien une loi de la forme

$$I = Ae^{-\frac{B}{\sqrt[4.6]{W}}}.$$

On trouve en effet les résultats suivants :

W.	I.		Différence pour 100.
	Observée.	Calculée.	
14,4	1,48	1,48	0
18,75	3,14	3,17	0,9
23,6	5,7	5,86	2,8
29,0	9,6	9,9	3,5
34,7	15,0	15,48	3,2
41,0	22,5	22,8	1,3
47,7	32,2	32,4	0,6
54,7	44,4	44,4	0

De même, d'après les nombres donnés par M. Laporte (*loc. cit.*, p. 115) pour une

considérant et en ne comparant que les régimes usuels des lampes, en particulier les régimes normaux (1).

» Si, pour une même puissance consommée, la température est plus élevée pour la lampe à filament de tungstène que pour la lampe à filament de charbon, le spectre du premier foyer sera plus riche en radiations, surtout en radiations de courte longueur d'onde, que celui du second ; c'est une conséquence des travaux de Lummer et Pringsheim. En d'autres termes, l'intensité lumineuse sera plus grande pour la lampe à filament métallique que pour la lampe à filament de charbon. Par conséquent, pour produire une même intensité lumineuse, il faudra dépenser moins d'énergie électrique pour les lampes à filament de tungstène que pour les lampes ordinaires à filament de charbon ; on peut même dire que, plus la température du filament sera grande, meilleur sera le rendement lumineux.

» Le Tableau suivant en est la preuve :

T.	Lampe à filament métallique.
	Watts par bougie.
1831	4,51
1943	2,48
2041	1,74
2125	1,31
2201	1,06

lampe à filament de tungstène, marque H, 35 watts, 25 bougies, on a

$$I = 0,91 \cdot 10^6 e^{-\frac{22,72}{1,6 \sqrt{W}}}$$

W.	I		Différence pour 100.
	observée.	calculée.	
9,18	0,75	0,74	1,3
12,3	1,76	1,76	0
15,7	3,46	3,48	0,6
19,5	6,03	6,18	2,4
23,5	9,6	9,9	3,0
27,8	14,45	14,96	3,4
32,3	20,9	21,3	1,8
34,7	24,7	25,1	1,6
37,1	28,9	29,2	1,0
42,0	38,0	38,6	1,5
47,3	49,8	49,8	0

Les expériences de M. Laporte vérifient donc très bien la formule exponentielle.

(1) Nous empruntons à M. A.-C. Jolley qui a fait beaucoup de déterminations photo-

ment à l'air libre, on peut aussi; comme pour le tungstène, les assimiler au platine et avoir, par conséquent, une idée de leur pouvoir émissif pour la radiation totale; on peut aussi connaître la puissance des températures absolues de ces filaments qui interviennent dans la loi reliant ces températures aux puissances électriques absorbées correspondantes (1).

» Une étude spéciale de la lampe à filament de tantale ou de tout autre corps n'offrirait donc aucun intérêt autre que celui de vérifier également des lois générales (2).

» Nos expériences confirment et expliquent les résultats photométriques déjà obtenus en pratique dont le plus important est le suivant : la consommation spécifique en watts par bougie est bien plus faible pour la lampe à incandescence à filament métallique que pour la lampe à filament de charbon.

» L'explication en est simple puisque la température du filament métallique est plus élevée que celle du filament de charbon en ne

(1) La structure des filaments ayant servi tend à devenir granulaire. Il est possible que ce fait explique que le pouvoir émissif du tungstène est presque identique à celui d'un corps noir.

(2) D'ailleurs les résultats photométriques publiés par M. Laporte (*loc. cit.*, p. 114) pour la lampe à filament de tantale nous permettent de voir si l'intensité de cette lampe suit bien une loi de la forme

$$I = Ae^{-\frac{B}{\sqrt[4.6]{W}}}.$$

On trouve en effet les résultats suivants :

$$I = 1,01.10^6 e^{-\frac{39,57}{\sqrt[4.6]{W}}}.$$

W.	I.		Différence pour 100.
	Observée.	Calculée.	
14,4	1,48	1,48	0
18,75	3,14	3,17	0,9
23,6	5,7	5,86	2,8
29,0	9,6	9,9	3,5
34,7	15,0	15,48	3,2
41,0	22,5	22,8	1,3
47,7	32,2	32,4	0,6
54,7	44,4	44,4	0

De même, d'après les nombres donnés par M. Laporte (*loc. cit.*, p. 115) pour une

considérant et en ne comparant que les régimes usuels des lampes, en particulier les régimes normaux (1).

» Si, pour une même puissance consommée, la température est plus élevée pour la lampe à filament de tungstène que pour la lampe à filament de charbon, le spectre du premier foyer sera plus riche en radiations, surtout en radiations de courte longueur d'onde, que celui du second ; c'est une conséquence des travaux de Lummer et Pringsheim. En d'autres termes, l'intensité lumineuse sera plus grande pour la lampe à filament métallique que pour la lampe à filament de charbon. Par conséquent, pour produire une même intensité lumineuse, il faudra dépenser moins d'énergie électrique pour les lampes à filament de tungstène que pour les lampes ordinaires à filament de charbon ; on peut même dire que, plus la température du filament sera grande, meilleur sera le rendement lumineux.

» Le Tableau suivant en est la preuve :

<i>T.</i>	Lampe à filament métallique.
	Watts par bougie.
1831	4,51
1943	2,48
2041	1,74
2125	1,31
2201	1,06

lampe à filament de tungstène, marque II, 35 watts, 25 bougies, on a

$$I = 0,91 \cdot 10^6 e^{-\frac{22,72}{2,0 \sqrt{W}}}.$$

<i>W.</i>	<i>I</i>		Différence pour 100.
	observée.	calculée.	
9,18	0,75	0,74	1,3
12,3	1,76	1,76	0
15,7	3,46	3,48	0,6
19,5	6,03	6,18	2,4
23,5	9,6	9,9	3,0
27,8	14,45	14,96	3,4
32,3	20,9	21,3	1,8
34,7	24,7	25,1	1,6
37,1	28,9	29,2	1,0
42,0	38,0	38,6	1,5
47,3	49,8	49,8	0

Les expériences de M. Laporte vérifient donc très bien la formule exponentielle.

(1) Nous empruntons à M. A.-C. Jolley qui a fait beaucoup de déterminations photo-

» Le tungstène fondant environ à 3100°, on ne peut craindre la fusion du fil malgré son faible diamètre qui rend la lampe si fragile. Il y aura cependant une limite parce que le filament se ramollira et la volatilisation du métal de la lampe qui viendra obscurcir l'ampoule tendra à abaisser le rendement en lumière.

» Le fait que les lampes ne contiennent pas d'air élimine tout à fait l'influence de la convection, et la conductibilité thermique par les attaches est si peu importante qu'on peut dire que toute l'énergie fournie est employée au rayonnement du foyer. Évidemment le degré de vide doit influencer sur le rendement.

» On peut conclure que les lois qui s'appliquent aux lampes à incandescence sont les mêmes, quant à la forme, quelle que soit la nature de leur filament. L'intensité lumineuse est une fonction exponentielle des watts dépensés et seuls des coefficients différents caractérisent les lampes à filaments de charbon ou à filaments métalliques.

métriques dans le laboratoire du Dr Drysdale, au Northampton Institute de Londres, le Tableau très intéressant qui suit ; il permet de comparer les divers résultats expérimentaux obtenus pour les températures des filaments des lampes à incandescence en régime normal. Nous y avons joint nos expériences :

Auteurs.	Année.	Type de filament.	Température absolue en degrés C.	Watts par bougie.
H.-F. Weber.....	1892	Charbon	1838-1853	»
P. Janet.....	1898	Charbon	1883-1993	»
Lummer et Pringsheim....	1899	Charbon	1875-2100	3,3
Le Chatelier et Boudouard..	1900	Charbon	2073	»
Waidner et Burgess.....	1906	Charbon	1950	3,0
— —	—	Tantale	2000	»
— —	—	Tungstène	2300	1,0
Clerici.....	1907	Charbon	1950	3,1
—	—	Tantale	2000	»
—	—	Tungstène	2300	»
Grau.....	1907	Charbon	1933	3,3
—	—	Tungstène	2123	1,1
Morris, Stroud et Ellis....	1907	Tungstène	2000	»
— — —	—	Tantale	1850	»
W.-W. Coblentz.....	1909	Charbon métallisé	1843	»
—	—	Tantale	1943	»
—	—	Tungstène	2083	»
Féry et Chéneveau	1909	Charbon	2053	3,4
— —	—	Tungstène	2148	1,2

» Ces lois découlent des lois générales du rayonnement et expliquent très bien les différences essentielles entre les lampes à incandescence anciennes et les lampes plus modernes.

NOTE 1.

SUR LA VARIATION DE RÉSISTANCE DES LAMPES AVEC LA TEMPÉRATURE.

» 1^{re} *Lampe à filament de charbon.* — On sait que la résistance de cette lampe diminue quand la température augmente et qu'elle tend vers une valeur constante lorsque la température devient très élevée. Le Tableau suivant obtenu avec une lampe Gérard indique bien de telles conclusions :

Volts.	Ampères.	Résistances.	t (vulgaires).
<i>Résistance à froid</i>		$30,5^{\circ}$	10°
14,2	1,18	12,0	1270
16,0	1,34	11,93	1365
18,0	1,51	11,91	1480
20,0	1,685	11,87	1575
22,0	1,86	11,82	1660
24,0	2,04	11,75	1740
25,0	2,12	11,78	1780 régime normal
27,0	2,29	11,79	1860
29,0	2,46	11,79	1930

» La résistance à froid était déterminée par la méthode du pont de Wheatstone; la résistance à chaud d'après la loi d'Ohm $R = \frac{E}{I}$. Dans ce dernier cas les appareils de mesure de la différence de potentiel et de l'intensité avaient une résistance telle qu'aucune correction appréciable n'était à faire d'après leur position par rapport à la résistance à déterminer.

» *Lampe à filament de tungstène.* — La résistance d'une telle lampe augmente quand la température augmente. Voici les résultats obtenus avec la lampe Z :

Volts.	Ampères.	Résistances.	t (vulgaires).
<i>Résistance à froid</i>		$16,5^{\circ}$	10°
26	0,240	108,2	1070
31	0,262	118,2	1130
36	0,293	123,0	1210
41	0,320	128,0	1235
46	0,340	135,1	1300
51,5	0,365	141,0	1375
62,0	0,408	152,0	1450
72,0	0,450	160,0	1610

Volts.	Ampères.	Résistances.	t (vulgaires).
		ω	0
82,0	0,483	170,0	1650
92,0	0,520	177,0	1750
102,0	0,550	185,5	1810
110,0	0,580	189,9	1875 régime normal
115,0	0,600	192,0	2009

» La courbe représentant graphiquement ce Tableau expérimental est donné par l'équation

$$R_t = 15\omega,5 + 7,99 \cdot 10^{-2}t + 0,0817 \cdot 10^{-4}t^2,$$

dans laquelle R_t est la résistance à t° , la résistance à 0° étant $15\omega,5$. En effet, on a

t .	R		Différence pour 100.
	observée.	calculée.	
0.....	ω 15,5	ω 15,5	0
500.....	57,5	57,5	0
1000.....	103,0	103,6	0,6
1500.....	153,0	153,7	0,4
2000.....	208,0	208,0	0

» De tels résultats sont intéressants pour notre étude, car ils montrent que la température que nous avons mesurée est bien la température exacte suivant laquelle variaient d'autres propriétés physiques du métal.

» Il y a lieu de faire remarquer que, d'après le diagramme, la résistance ne s'annule pas pour le zéro absolu. Ce point n'est pas surprenant, car le cuivre pur électrolytique présente les mêmes particularités ⁽¹⁾.

NOTE II.

SUR LES LOIS EMPIRIQUES DE CONSOMMATION DES LAMPES A INCANDESCENCE.

» Notre Mémoire était prêt à être envoyé à l'impression quand nous avons eu connaissance d'un travail de M. Chrétien sur *Une loi empirique de consommation des lampes à incandescence à filament de carbone* ⁽²⁾.

» Ce travail indique que la loi empirique de Voit

$$I = kW^3$$

n'est qu'approximativement exacte et que, d'après la formule de Planck et les lois du rayonnement, l'intensité lumineuse est proportionnelle à la douzième puissance de la température absolue du filament.

⁽¹⁾ WROBLEWSKI, *Comptes rendus*, 1855. D'après les expériences de Nicolai (*Journ. de Phys.*, t. VII, 4^e série, 1908, p. 937), la résistance électrique des métaux purs, quoique très petite, ne s'annule pas nécessairement à la température du zéro absolu.

⁽²⁾ Association française pour l'avancement des Sciences, Congrès de Lille, *Résumé des travaux*, 1909, p. 76.

» Cette loi n'est encore que grossièrement approchée si l'on cherche à la vérifier avec nos expériences. Voici en effet les résultats obtenus :

Lampe à charbon $I = \alpha T^{12}$.

Watts.	$\log \alpha = 38,6923.$			$\log \alpha = 38,5968.$	
	Intensité en bougies		Différence pour 100.	I calculée.	Différence pour 100.
	observée.	calculée.			
30	2,3	2,3	0	2,9	20,6
40	6,0	5,2	13,3	6,5	13,3
50	11,9	8,8	26,0	11,0	8,1
60	20,7	16,6	20,0	20,7	0
70	31,8	25,5	20,0	31,8	0

» Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que Lummer et Kurlbaum ont déjà indiqué cette loi d'émission pour le platine ⁽¹⁾. Elle a donc plus de chance de s'appliquer aux lampes à filament métallique qu'à celles à filament de charbon. En effet, en posant arbitrairement

$$I = \alpha T^x,$$

nous déduisons de nos expériences (valeurs extrêmes) $x = 11,8$. Cependant, pour montrer que cette loi est encore très empirique pour les lampes à filaments métalliques et ne peut être considérée comme l'expression exacte des lois du rayonnement, nous donnons dans le Tableau suivant une idée des différences obtenues entre les valeurs de l'intensité lumineuse calculée et observée :

Lampe à tungstène $I = \alpha T^{12}$.

Watts.	$\log \alpha = 38,3741.$			$\log \alpha = 38,3885.$	
	Intensité en bougies		Différence pour 100.	I calculée.	Différence pour 100.
	observée.	calculée.			
30	6,0	6,0	0	5,8	3,3
40	13,2	12,2	7,5	11,8	10,6
50	23,6	22,1	6,3	21,3	10,0
60	37,4	35,9	4,3	34,7	7,2
70	54,0	55,8	3,4	54,0	0

M. le Président remercie M. Chéneveau de sa très intéressante Communication et le félicite des résultats qu'il a su obtenir avec la collaboration de M. Féry.

⁽¹⁾ BLONDEL, *loc. cit.* — LUMMER et KURLBAUM, *Verh. d. phys. Ges.*, t. II, 1900, p. 89.

RÉACTION D'INDUIT ET COMPOUNDAGE DES ALTERNATEURS ⁽¹⁾.

MM. DALEMONT et HERDT. — « La réaction magnétique des courants d'induit sur le champ d'un alternateur, dont l'excitation est supposée constante, est un phénomène complexe qui a été l'objet de recherches et d'études nombreuses ⁽²⁾. Nous ne rappellerons ici que la théorie des deux réactions due à M. Blondel, qui fixait dès 1899 ⁽³⁾ et a développé plus complètement en 1904 ⁽⁴⁾ les éléments du problème et la méthode d'analyse la plus satisfaisante.

I. — LA RÉACTION D'INDUIT.

» Lorsqu'un alternateur monophasé marche à circuit ouvert, sa force électromotrice est maxima lorsque la ligne neutre de la roue polaire coïncide avec l'axe des bobines fixes d'armature. La valeur de cette force électromotrice ne dépend que des constantes du circuit magnétique, du nombre de conducteurs d'induit et de la fréquence.

» Lorsque l'induit alimente un circuit extérieur non inductif, la réactance propre des bobines d'induit détermine un décalage du courant sur la force électromotrice agissante, et il n'y a concordance de phase qu'entre la tension aux bornes et le courant.

» La tension aux bornes n'a plus ni la valeur ni la phase de la force électromotrice agissante (f. e. m. à vide) et cela est dû à la réaction d'induit.

» On peut imaginer deux cas particuliers : 1° celui où le courant est en phase avec la force électromotrice à vide et, dans ces conditions, on peut voir facilement que le courant d'induit aura un effet

(1) Communication présentée par M. Liouville.

(2) Nous donnerons, à la fin de ce travail, une bibliographie où l'on trouvera, méthodiquement classés, suivant l'ordre des faits, les principaux articles qui ont été publiés sur ce sujet dans les grandes Revues techniques.

(3) Cf. *Comptes rendus*, 16 octobre 1899, p. 586; *L'Industrie électrique*, 10-25 novembre 1899.

(4) Cf. *Congrès international des Électriciens à Saint-Louis*, t. III, 1904, p. 635-667.

magnétisant sur une moitié du pôle, démagnétisant sur l'autre moitié : le résultat, au point de vue de la valeur de la force électromotrice, ne dépendra donc que de la saturation du circuit magnétique ; 2° si le courant est décalé de $\frac{\pi}{2}$ sur la force électromotrice à vide, en avance ou en retard, l'action des courants d'induit s'exerce directement sur les pôles, et cette action sera maxima au moment où l'axe du pôle coïncidera avec l'axe de la bobine. En général, le décalage n'est ni égal à zéro ni égal à $\frac{\pi}{2}$, et il en résulte que, pour un décalage φ , on peut décomposer l'action du courant d'armature en deux parties, l'une produite par un courant supposé en phase avec la force électromotrice à vide, l'autre par un courant supposé en quadrature. Le courant réel ayant comme composantes les deux courants fictifs dont l'action combinée constitue la réaction totale, on peut aisément étendre ces considérations au cas de l'alternateur triphasé.

» Mais, tout d'abord, on n'a peut-être pas suffisamment insisté sur ce fait que pour substituer en toute rigueur, au courant réel, deux composantes, il faudrait que ces composantes eussent chacune le même circuit magnétique que le courant réel, et l'on sait qu'il en est autrement. Considérons les divers flux d'excitation et d'armature d'un alternateur.

» Soient OA (*fig. 1*) la force électromotrice à vide E_0 en grandeur et en phase ; OI le courant et Φ l'angle de *décalage total* entre ces deux grandeurs ; OF et OG sont les deux composantes du courant, ON représente en grandeur et en phase le flux produit par l'excitation constante qui induit, dans l'armature à circuit ouvert, la force électromotrice E_0 ; OH est le flux dû à la composante OG du courant en quadrature avec E_0 , tandis que OK est le flux dû à la composante OF. Ces deux flux donnent lieu respectivement aux f. e. m. AB et BC. Si l'on introduit enfin la f. e. m. DC due aux fuites de l'induit, en quadrature avec le courant, et la chute ohmique VD en phase avec le courant, on aura en OV la tension aux bornes.

» En résumé, le flux réel en charge a quatre composantes qui sont :

ON : flux dû à l'excitation constante ;

OK : » a la composante wattée du courant ;
 OH : » » dévattée du courant ;
 OS : » aux fuites de l'induit.

De même, la tension aux bornes a cinq composantes :

OA : f. e. m. à vide ;
 AB : f. contre-électrom. due au flux OH ;
 BC : f. contre-électrom. due au flux OK ;
 CD : » » au flux de fuite OS ;
 DV : chute ohmique généralement négligeable.

» La remarque que nous faisons ci-dessus relativement aux différences de réluctance des circuits magnétiques de OK et de OH ap-

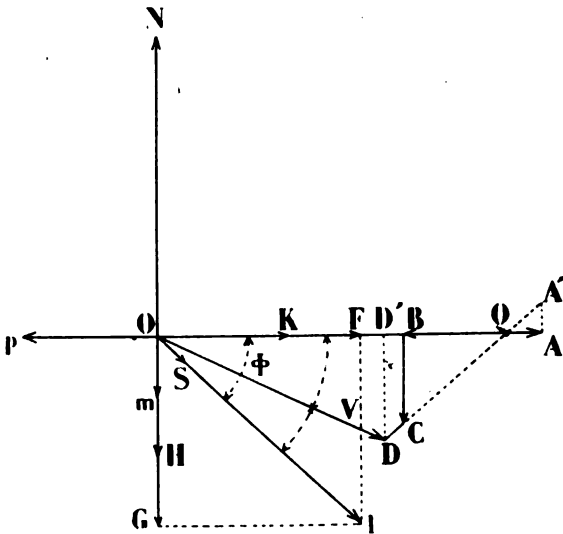


Fig. 1. — Diagramme des vecteurs.

N. B. L'angle AOS = Φ ; l'angle VOI = φ ; l'angle AOV = δ ; le point de rencontre de la ligne OA et de la perpendiculaire.

paraît au diagramme d'une façon visible, puisque, par suite de ces réluctances différentes, la droite DC prolongée ne passe pas par A, mais par un point A' sur la perpendiculaire menée par A à la droite OA : si l'on néglige VD, chute ohmique, on voit que la réaction d'armature totale DA a deux composantes : AD' et D'D.

» Si nous appelons x_1 , x_2 les réactances de l'induit correspondant aux flux de réaction OH et OK et si x_3 est la réactance due aux

fuites, nous aurons donc (fig. 2)

$$\begin{aligned} AB &= x_1 I \sin \Phi, & BC &= x_2 I \cos \Phi, & DC &= x_3 I, \\ AD' &= (x_1 + x_3) I \sin \Phi, & D'D &= (x_2 + x_3) I \cos \Phi. \end{aligned}$$

» En admettant que x_1 , x_2 et x_3 soient des constantes pour

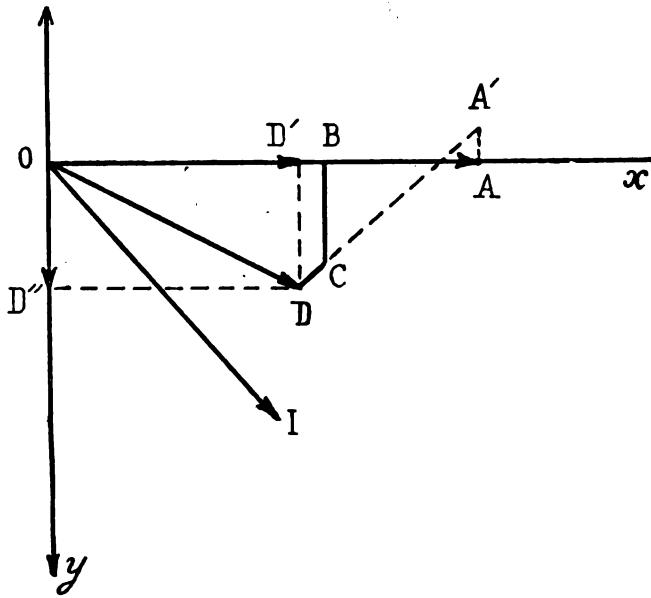


Fig. 2. — Coordonnées des vecteurs.

une machine donnée à tout état de charge, on voit que les deux composantes de la réaction totale varient comme le sinus et le cosinus de l'angle Φ et que, dès lors, on peut comparer approximativement l'effet de l'induit à celui d'un pôle dont l'intensité dépend de la valeur du courant débité, et dont la position varie de $\frac{\pi}{2}$ à 0° (électriques) par rapport à l'axe du pôle. Il est clair qu'il faut imaginer pour une machine entière autant de pôles de ce genre qu'il y a de circuits magnétiques et, d'autre part, que les pôles fictifs se déplacent avec la roue polaire et que leur position par rapport aux pôles est fixée par la valeur du décalage Φ du courant sur la f. e. m. à vide. Ceci d'ailleurs ne serait rigoureusement vrai que si $x_1 + x_3$ était égal à $x_2 + x_3$.

II. — REACTANCES DE L'INDUIT.

» Les réactances x_1 , x_2 et x_3 sont assez différentes et, pour les calculer au préalable ou les déterminer sur une machine déjà construite, différentes méthodes ont été proposées. Nous les rappellerons en appendice. Les valeurs de ces réactances dépendent d'ailleurs des constantes magnétiques et électriques de la machine, du nombre de fils des bobines d'armature, du nombre d'encoches et de la forme de celles-ci. La connaissance des valeurs de x_1 , x_2 et x_3 , pour une machine donnée, permet de construire facilement les caractéristiques en charge du circuit inductif ou non inductif.

» Reprenons le diagramme des vecteurs (*fig. 2*), et appelons x et y les projections de OD sur les axes orthogonaux fournis par la direction de OA , f. é. m. à vide, et sa perpendiculaire. Si nous posons

$$OA = E_0, \quad OB = I, \quad OD = V,$$

nous aurons

$$OD' = x = E_0 - I(x_1 + x_3) \sin \Phi,$$

$$OD'' = y = I(x_2 + x_3) \cos \Phi;$$

soient

$$x_1 + x_3 = K_1,$$

$$x_2 + x_3 = K_2;$$

nous pourrions écrire, si I est constant,

$$K_1 I = a, \quad K_2 I = b,$$

d'où

$$(1) \quad x = E_0 - a \sin \Phi,$$

$$(2) \quad y = b \cos \Phi.$$

» En tirant $\sin \Phi$ de la relation (1) et portant en (2) la valeur de $\cos \Phi$ qu'on en déduit, on obtient la relation

$$ay^2 + b^2 z^2 = a^2 b^2,$$

où

$$z = E_0 - x.$$

C'est l'équation d'une ellipse.

» Pour obtenir la tension aux bornes pour un courant I et un décalage Φ donnés, on peut employer la construction graphique suivante :

plète, et quels sont les moyens propres à élever la capacité spécifique de ces machines. La grande largeur relative des armatures est due à ce que, pour avoir une chute de tension faible, on choisit une valeur élevée du rapport des ampères-tours du champ aux ampères-tours d'armature.

» Il y aurait avantage à construire des machines saturées avec caractéristiques surbaissées (1). Au surplus, la valeur élevée de la réaction dans les machines à faible entrefer obligerait à recourir aux procédés de compensation directe.

» Sans doute, dans les grandes unités marchant à charge peu variable, le compoundage est accessoire et l'emploi d'un régulateur genre Tyrill ou autre peut suffire pour maintenir la tension constante aux bornes. On sait d'autre part que, dans la marche en parallèle des alternateurs compoundés, certains inconvénients sont à redouter du fait que la compensation n'atteint pas les différences de tension, qui peuvent résulter des différences de construction ou de constitution d'alternateurs semblables.

» Néanmoins, il reste encore un grand nombre de cas où l'on peut avec avantage employer des alternateurs compounds. Les procédés de compoundage sont assez nombreux, mais peuvent être cependant ramenés à quelques groupes principaux par les analogies qu'ils présentent.

» Le but de ce travail est d'indiquer une méthode assez simple pour obtenir un compoundage sinon parfait du moins fort approché, méthode qui, à notre connaissance, n'a pas encore été expressément indiquée dans la littérature technique. Nous en montrerons l'application à une machine triphasée à pôles tournants.

» *B. Compoundage par compensation de $I x_1 \sin \Phi$.* — Si l'on se reporte à la figure 2, on remarque que, la réaction totale ayant deux composantes, on pourrait obtenir un compoundage parfait au moyen de deux champs de compensation, l'un dirigé suivant l'axe des pôles et dont l'intensité varierait suivant $I \sin \Phi$, et l'autre décalé de $\frac{\pi}{2}$ degrés électriques et dont l'intensité dépendrait de $I \cos \Phi$.

(1) Cf. MAC FARLANE et BURGLE, *Électricien*, t. LXII, 18 décembre 1908, p. 390.

» Mais il faut remarquer que, si la composante AB diminue la f. e. m. agissante, la composante BC l'augmente et change seulement sa phase; la troisième composante CD diminue de nouveau la f. e. m. et change encore sa phase.

» Si donc on se borne à compenser la réaction AB, due au courant déwatté, par un champ coïncidant avec le champ d'excitation principal, on aura, pour un courant I et un décalage total Φ , la tension aux bornes représentée par le vecteur OB' (fig. 4). On voit en outre que pour diverses valeurs de Φ et de I le point B' se déplacera sans que toutefois la longueur OB' diffère beaucoup de OA .

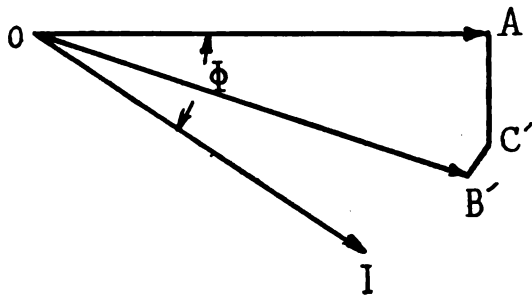


Fig. 4. — Diagramme des vecteurs après compensation de $Ix_1 \sin \Phi$.

» Il est facile de trouver la valeur de la tension aux bornes après compensation de la composante $Ix_1 \sin \Phi$,

$$OB' = \sqrt{(E_0 - Ix_3 \sin \Phi)^2 + (x_2 + x_3)^2 I^2 \cos^2 \Phi}.$$

» Connaissant E_0 , I , x_2 et x_3 , on peut calculer pour quelle valeur de Φ le vecteur OB' sera exactement égal à OA , f. e. m. à vide. L'écart des valeurs extrêmes de OB et les différences entre OA et OB' dépendent des valeurs de x_1 , x_2 et x_3 qui ne sont pas rigoureusement fixées, puisque ces constantes dépendent d'éléments dont on peut disposer dans une mesure, limitée sans doute, mais pratiquement suffisante.

» Ce procédé de compoundage revient donc simplement à placer sur les pôles de l'alternateur des ampères-tours additionnels, qui créent une force magnétomotrice supplémentaire proportionnelle à $I \sin \Phi$. Nous allons en étudier une application; nous verrons ensuite comment on peut obtenir un courant d'excitation proportionnel à $I \sin \Phi$.

IV. — APPLICATIONS ⁽¹⁾.

» La machine étudiée est un alternateur triphasé de 15,2 k. v. a.; 60 périodes, 6 pôles, 1200 tours, 220 volts; la figure 5 donne ses

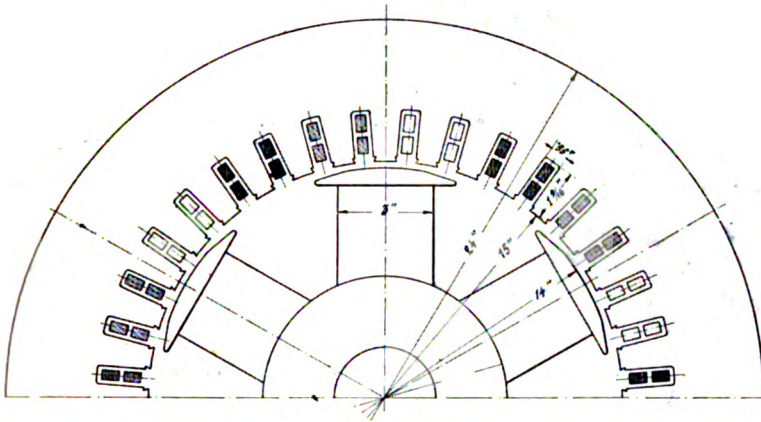


Fig. 5. — Coupe de l'alternateur.

principales dimensions; la figure 6 en montre une vue. Toutes les constantes caractéristiques de cette machine ont été réunies dans le Tableau I.

» Les caractéristiques à vide et en court-circuit, relevées sur la machine, sont représentées dans la figure 7 par les courbes 1 et 2.

» La courbe 1 de la figure 8 donne la tension aux bornes à pleine charge ($I = 40$ ampères) pour différents facteurs de puissance, l'excitation étant maintenue constante (5,6 ampères) ainsi que la vitesse (1200 tours). On voit que la tension passe de 203 volts pour $\cos \varphi = 1$, à 134,5 volts pour $\cos \varphi = 0$. Ce dernier point correspond à un décalage de $\frac{\pi}{2}$ sur la tension aux bornes dont la phase coïncide ici avec celle de la f. e. m. à vide.

(1) Toutes les expériences ont été effectuées dans les laboratoires de l'Université Mc Gill, à Montréal.

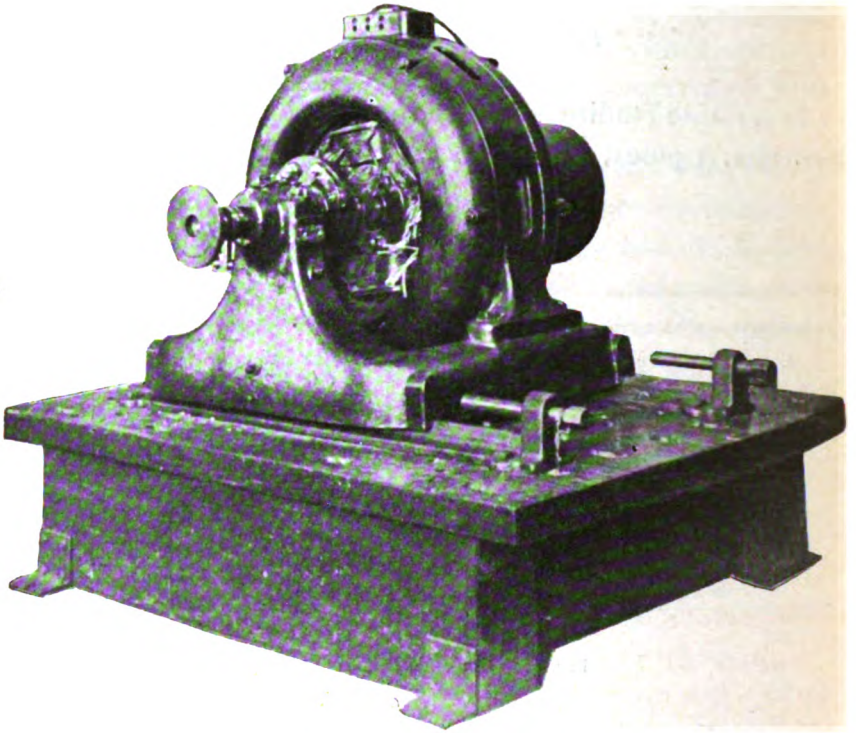


Fig. 6. — Vue de l'alternateur.

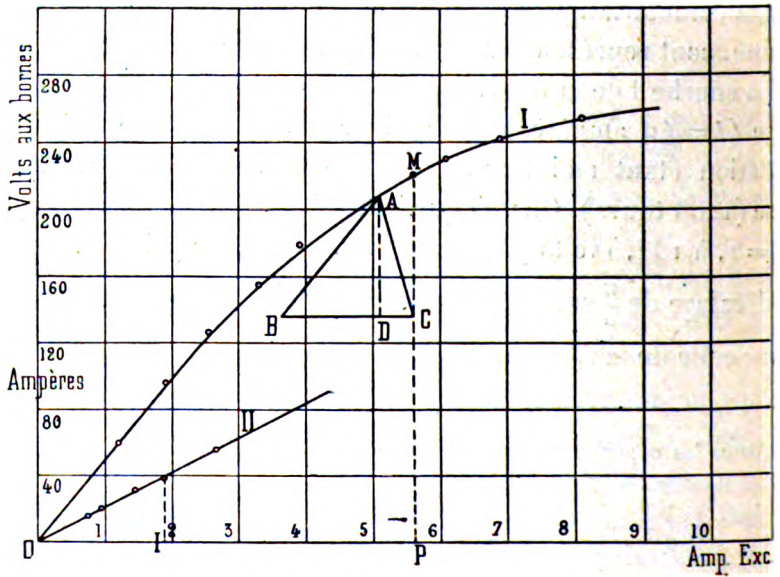


Fig. 7. — Caractéristiques de l'alternateur. I : à vide ; II : en court-circuit.

TABLEAU I.

Alternateur triphasé : montage des circuits	Δ
Volts aux bornes	220
Puissance en kilovolts-ampères	15,2
Nombre de pôles	6
Nombre de tours-minute	1200
Fréquence	60
Nombre d'encoches par pôle et phase	2
Nombre d'encoches sur l'induit	36
Diamètre de l'induit (intérieur) en centimètres	38
Diamètre de l'induit (extérieur) en centimètres	61
Largeur de l'induit en centimètres	10,5
Section utile de fer au-dessus des encoches (en centimètres)	72
Section du pôle en centimètres carrés	82,5
Nombre de conducteurs par encoche	16
Nombre de conducteurs par phase	192
Nombre de conducteurs par pôle	1150

» On peut donc déterminer exactement x_1 et x_2 en faisant tra-

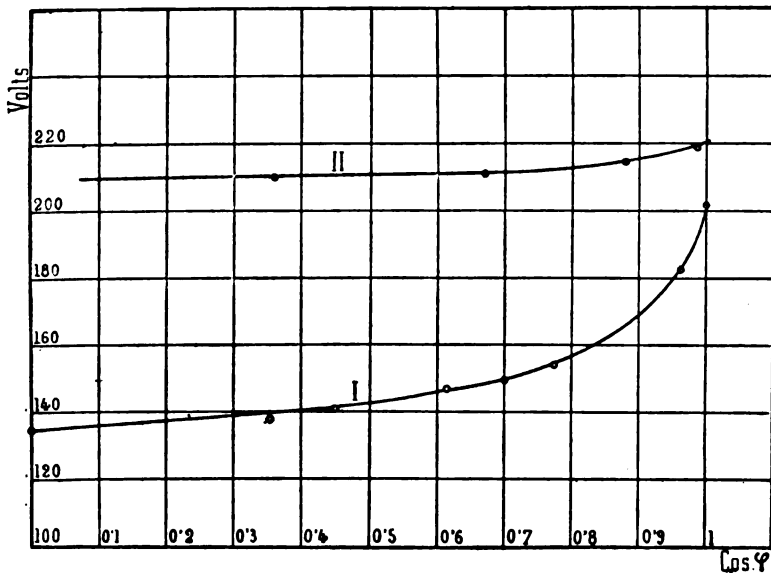


Fig. 8. — Caractéristiques en charge sur circuit alternatif.

I : sans compoundage ; II : avec compoundage.

vailler la machine sur des réactances donnant un décalage sensiblement égal à $\frac{\pi}{2}$. Il est bon de relever quelques points pour des déca-

lages plus faibles que $\frac{\pi}{2}$, étant donné que la courbe en ce point se rapproche d'une droite et que la lecture de puissance devient délicate. D'ailleurs, une erreur dans la mesure de l'angle de phase n'aurait pas grande conséquence dans la détermination de $x_1 + x_3$.

» On a trouvé ainsi

$$x_1 + x_3 = 3,72 \text{ ohms.}$$

» De la courbe 1 (*fig. 8*) on peut également déduire x_2 et x_1 , puisqu'à l'origine, pour $\cos \varphi = 1$ (décalage extérieur nul), on a la relation

$$E - I(x_1 + x_3) \sin \Phi = V \cos \Phi,$$

ce qui permet de déterminer l'angle Φ , et d'autre part,

$$V \sin \Phi = I(x_2 + x_3),$$

d'où l'on peut ainsi déterminer

$$(x_2 + x_3) = 2,32.$$

» Pour avoir les coefficients des deux réactances, il suffit de deux essais, l'un à pleine charge sur réactance, l'autre à pleine charge sur circuit non inductif. Il est vrai que, pour ce second essai, on rencontre en fait des difficultés qui le rendent souvent impraticable. On peut vérifier les coefficients en calculant les valeurs de la tension pour diverses valeurs du décalage extérieur. C'est ce que donne le Tableau II.

TABLEAU II.

$\cos \varphi.$	$\sin \Phi.$	$\cos \Phi.$	$V.$
1	0,254	0,967	203
0,965	0,5	0,865	183
0,84	0,7	0,7	162
0,65	0,865	0,5	149
0,35	0,967	0,254	148
0	1	0	134,5

» On voit que les valeurs de V calculées correspondent très exactement à celles de la courbe relevée sur la machine.

» Si nous connaissions l'un des trois coefficients, les deux autres seraient par le fait déterminés. Le coefficient x_3 , correspondant aux fuites de l'armature, peut être obtenu assez facilement et avec

une approximation suffisante en envoyant dans les circuits d'induit, la roue polaire étant éloignée, un courant de même fréquence et de même intensité que celui de la machine à pleine charge. En relevant la tension absorbée et en divisant par l'intensité efficace on a la valeur de l'impédance des fuites, d'où il est facile de déduire la réactance. A vrai dire, cette méthode est bien sujette à quelques réserves; nous les indiquerons dans l'appendice.

» Quoi qu'il en soit, nous avons trouvé dans le cas présent pour l'impédance des fuites 0,566 ohm; la résistance de l'armature étant 0,0708 ohm, la réactance $x_3 = 0,562$ ohm.

» On aurait donc finalement

$$x_1 = 3,16,$$

$$x_2 = 1,76.$$

» Le rapport $\frac{x_1}{x_2} = 1,79$ est un peu plus grand que celui qui a été relevé sur la machine par deux déviations galvanométriques obtenues à deux bobines auxiliaires placées l'une dans l'axe d'un pôle, l'autre dans la ligne neutre (¹): la f. e. m. étant induite dans ces bobines par la rupture d'un courant continu égal au courant de pleine charge, traversant les conducteurs de l'armature. Le rapport obtenu dans ces conditions était 1,625. Mais il y a lieu de faire observer que la f. e. m. statique induite par la rupture d'un courant continu traversant l'induit n'est pas absolument comparable à la f. e. m. efficace produite par l'induction due au courant alternatif normal, de sorte que cette différence ne doit en rien surprendre.

» Au surplus, il existe un moyen de vérification puisque la figure 1 donne

$$A'C - CQ = A'Q = x_1 - x_2,$$

d'où l'on peut déduire la valeur de x_1 et de x_2 en associant à cette relation celles qui donnent

$$(x_1 + x_3) \quad \text{et} \quad (x_2 + x_3).$$

» On peut dès lors calculer les valeurs de la tension aux bornes pour le courant de pleine charge $I = 40$ ampères après compensa-

(¹) Cf. L.-A. HERDT, *Characteristics of alternators* (*Am. Inst.*, 1902, p. 1093).

tion de $Ix, \sin \Phi$ et pour diverses valeurs de $\cos \Phi$. Le Tableau III donne ces valeurs :

TABLEAU III.

Φ .	$Ix, \sin \Phi$.	$E - a$.	$I(x_1 + x_2)$.	V .	V' .	$1 - \frac{V}{220}$.	$1 - \frac{V'}{220}$.	$\cos \varphi$.
30°	6	214	79,5	219	194	0,004	0,12	0,98
45	8,5	211,5	64,8	215	166	0,02	0,24	0,88
60	10,4	209,6	45,8	211	148	0,04	0,33	0,67
75	11,6	208,4	23,7	209	140	0,05	0,36	0,36

» Ce Tableau montre que les écarts de tension atteignent 36 pour 100 quand le facteur de puissance à pleine charge varie de 1 à 0,36, tandis que l'écart ne dépasse pas 6 pour 100 quand on compense la composante $Ix, \sin \Phi$. On peut calculer de même les diverses valeurs de la tension aux bornes, pour un facteur de puissance constant et un courant variant de 0 à maxima, soit 40 am-

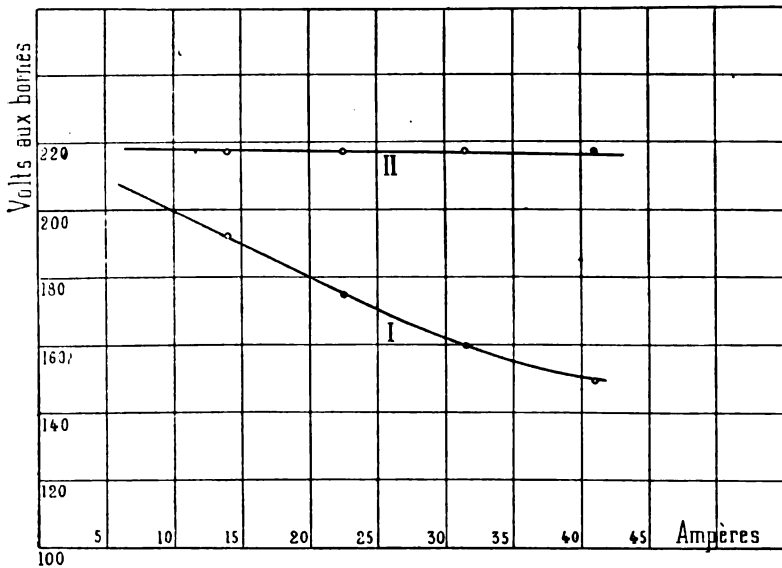


Fig. 9. — Caractéristiques avec et sans compensateur (courbes II et I) pour I variable et $\cos \varphi = 0,67$.

pères. Le Tableau IV donne les valeurs avec et sans compensation pour un $\cos \varphi = 0,67$. Ces résultats sont représentés par les courbes (fig. 9).

TABLEAU IV.

I .	V .	V' .	$1 - \frac{V}{220}$.	$1 - \frac{V'}{220}$.
0	220	220	»	»
13,8	194	216,6	0,11	0,014
22,5	173,5	215	0,21	0,02
31,2	160	213,6	0,27	0,028
40	149	212	0,32	0,035

» V est la tension sans compensation, V' la tension après compensation. Les écarts de tension ne dépassent pas dans ce dernier cas 3,5 pour 100 et ils sont 10 fois plus petits que quand la machine fonctionne à excitation constante.

» Pour vérifier ces résultats, nous avons fait fonctionner l'alternateur à vitesse normale en alimentant un circuit comprenant trois résistances variables ayant trois self-inductions en dérivation. Le courant d'excitation était réglé pour chaque expérience de façon à avoir successivement pour les courants I indiqués au Tableau IV. les tensions V' aux bornes.

» Les valeurs trouvées pour le courant d'excitation ont été :

Pour I égal à	0	et excit. égal	5,6
»	13,8	»	6,7
»	22,5	»	7,10
»	31,2	»	7,40
»	40	»	5,58

» En se reportant à la caractéristique en court-circuit (*fig. 7*), on voit que, pour obtenir l'intensité normale de 23 ampères dans chaque phase, il faut 2250 a. t. d'excitation (puisque'il y a 1150 spires par pôle), ce qui correspond à une tension de 96 volts. Si, au contraire, la machine travaille sur réactance avec un décalage de $\frac{\pi}{2}$, la chute de tension est de 85,5 volts et le nombre d'ampères-tours en opposition rapportés au circuit d'excitation est de 3170. Or, dans les deux cas, le courant est sensiblement en quadrature et les ampères-tours doivent correspondre assez exactement aux ampères-tours d'armature, qui agissent directement sur le circuit magnétique de la machine. On peut tout d'abord en conclure que les valeurs de $x_1 + x_3$ sont différentes suivant que la machine marche en court-circuit ou travaille sur réactance. Soient I le courant efficace

par fil, N le nombre de conducteurs par encoche et n le nombre d'encoches qui se trouvent simultanément sous un pôle; nous aurons comme expression des ampères-tours maxima d'armature

$$\frac{n I N \sqrt{2}}{3} = \frac{6 \times 23 \sqrt{2} \times 16}{3} = 1040.$$

» On peut donc écrire, comme vérification de la valeur de x ,

$$\frac{\frac{4\pi}{10} 1040}{\mathfrak{R}} = \Phi_a,$$

$\mathfrak{R}$ étant la réluctance d'un circuit magnétique et Φ_a le flux dû aux ampères-tours en opposition. On a trouvé ici $1,46.10^8$ comme valeur de ce flux, soit environ le tiers du flux produit dans l'armature par l'excitation à vide. La f. e. m. ainsi produite serait donc environ de 73,5 volts et le coefficient

$$x_1 = \frac{73,5}{23} = 3,18,$$

tandis qu'on aurait

$$x_3 = \frac{11,5}{23} = 0,5;$$

ce qui correspond aux valeurs indiquées précédemment.

V. — METHODES PRATIQUES DE COMPOUNDAGE.

» Ayant établi le principe de compoundage proposé, nous allons examiner les dispositifs qui permettent de le réaliser simplement.

» *Dispositif I (fig. 10).* — La question revient, ainsi que cela a été dit, à faire passer dans m spires supplémentaires (K) placées sur chaque pôle un courant dont la valeur dépend à chaque instant de $I \sin \Phi$. Le système qui se présente immédiatement à l'esprit est basé sur l'emploi d'un moteur spécial analogue au phasemètre imaginé par Dolivo-Dobrowolski, et comportant deux circuits (g et h) décalés de 90° dans l'espace traversés par deux courants décalés de l'angle Φ . On sait que, si l'on dispose dans le champ produit par les deux circuits fixes du stator, un rotor où prennent naissance

des courants induits, le couple obtenu est proportionnel à $I \sin \Phi$. Le courant I sera le courant de l'alternateur (b) ou un courant réduit par un transformateur de courant (f) et traversant l'un des circuits du stator, tandis que l'autre circuit sera parcouru par un courant emprunté à une petite machine auxiliaire (e) donnant une f. e. m. rigoureusement en phase avec la f. e. m. à vide de l'alter-

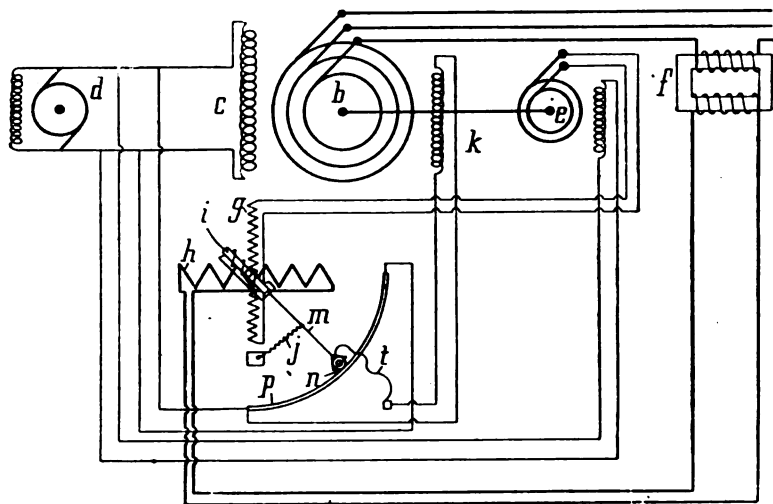


Fig. 10. — Compoundage par alternateur auxiliaire.

nateur (b) à compounder. Cette machine aura le même nombre de pôles que l'alternateur principal et sera montée sur le même arbre. La puissance sera excessivement faible et telle cependant que le courant débité n'altère pas de façon appréciable la phase de la tension produite. Au surplus, on remarquera que, le moteur auxiliaire ne produisant pas directement la puissance nécessaire à l'excitation de compensation, ses dimensions pourront être très réduites. Enfin le rotor de ce moteur agira sur un levier mobile m qui, rappelé par un ressort, prendra, pour chaque valeur du couple, une position déterminée, fixée par la valeur du couple. L'angle de déviation à partir de la position d'équilibre sera donc proportionnel à $I \sin \Phi$.

» Entre les positions extrêmes du levier, la position d'équilibre ($I x \sin \Phi = 0$) et la position correspondant à l'écart maximum ($I x$), on peut placer des groupes de résistances égales, que le levier introduira, ou enlèvera du circuit d'excitation supplémentaire

alimenté à tension constante; on pourra emprunter cette tension à l'excitatrice principale.

» L'écart angulaire maximum dépendra du ressort adopté. Pour la machine étudiée dans ce travail, les ampères-tours supplémentaires doivent atteindre 2680 dans la position extrême du levier. En plaçant 270 tours par pôle, l'excitation supplémentaire sera donc de 10 ampères au maximum; il est préférable d'adopter une intensité qui n'ait pas une trop grande valeur. Le nombre total de plots entre lesquels seront réparties les résistances variables sera au contraire assez grand de façon à rendre le réglage plus exact; il ne faudra pas cependant aller trop loin dans cette voie, afin de ne pas exagérer la course du levier pour une petite variation du couple. A ce point de vue, les dispositions adoptées dans le système de régulateur Thury ont donné d'excellents résultats (1).

» Si le rhéostat comporte 40 plots, et si r est la résistance des spires supplémentaires d'excitation, r_1 la résistance entre chaque plot, et V la tension appliquée aux bornes, on aura

$$i_0 = \frac{V}{r + 40r_1}, \quad i' = \frac{V}{r} \approx 10,$$

d'où

$$i_0 = \frac{10}{1 + 4 \frac{r_1}{r}};$$

posons

$$i_0 = \frac{i'}{40},$$

il viendra

$$\frac{1}{4} = \frac{10}{1 + 4 \frac{r_1}{r}},$$

d'où

$$\frac{r_1}{r} = 9.75.$$

» Nous ne calculerons pas ici toutes les parties du dispositif de compoundage, puisque les dimensions du moteur (type phase-mètre) dépendent de la valeur du couple, lequel sera choisi d'après la pression du levier sur les plots et la valeur de la tension admissible pour le ressort de rappel.

(1) Cf. RÉGULATEUR THURY (*Lumière électrique*, t. IX, 1896, p. 145).

» La figure 10 donne le schéma des connexions de toutes les parties du présent dispositif.

» *Dispositif II.* — Considérons un alternateur triphasé G alimentant le bobinage du stator d'un moteur à champ tournant. Supposons que, dans la position représentée dans la figure 11, la f. e. m. soit maximum dans la bobine 1 du générateur; en 2 et 3, les f. e. m.

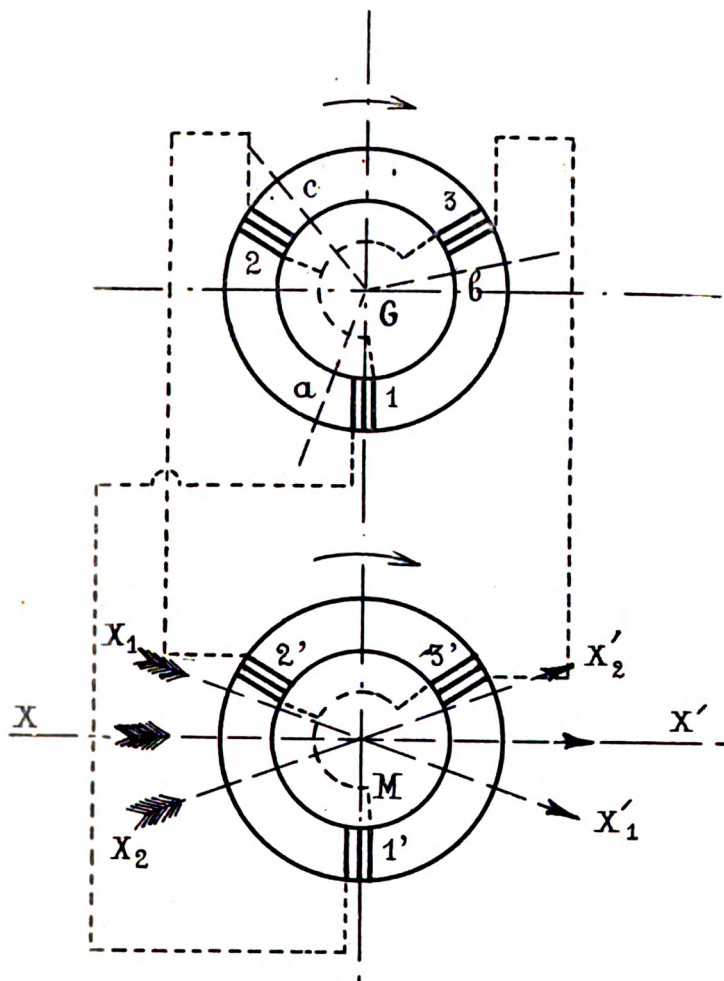


Fig. 11. — Compoundage par groupe auxiliaire à champs tournants; disposition schématique.

auront toutes deux la moitié de cette valeur maxima prise en signe contraire. Si les courants qui traversent les circuits sont en phase avec les forces électromotrices induites, ils auront dans 1', 2'

et 3' du stator de M, des valeurs correspondantes à celles des forces électromotrices en G, et le champ produit en M aura à l'instant considéré la direction XX' .

» Il conservera invariablement cette position, si l'on imprime au stator une vitesse de rotation synchrone inverse de celle du champ.

» Supposons qu'un décalage existe entre le courant traversant les circuits et les f. e. m. induites en G; le champ tournant en M sera maximum lorsque les bobines en G seront dans les positions a, b, c ; et si le stator de M tourne synchroniquement, on voit que la direction permanente du champ constant y est $X_1X'_1$. L'angle $X'OX_1$, étant égal à Φ et représentant l'angle de retard du courant sur la f. e. m., si moteur et générateur ont même nombre de pôles.

» On peut imaginer un second système en tous points semblable au précédent, sauf en ce qui concerne le sens de l'enroulement du stator qui produit un champ tournant en sens inverse du premier, ledit stator étant alors animé d'une rotation inverse synchrone; on obtiendra ainsi un second champ permanent de direction et d'intensité constante et dirigé suivant une droite $X_2X'_2$ qui fait avec XX' le même angle de déphasage du courant sur la f. e. m. induite en G, mais compté en sens opposé du précédent.

» Ces deux champs d'intensité proportionnelle à I , courant d'excitation des stators, sont décalés de l'angle 2Φ si nous appelons Φ le déphasage total du générateur.

» Plaçons simultanément dans un même plan diamétral et dans chaque champ une spire; si nous réunissons ces deux spires de telle sorte qu'une branche de l'une soit connectée à la branche diamétralement opposée de l'autre, on aura, aux deux bornes extrêmes du circuit des deux spires, une f. e. m. proportionnelle à $2I \sin \Phi$ (*fig. 12*).

» On peut appliquer ce dispositif indiqué ici au compoundage des alternateurs en plaçant dans les deux champs fixes un rotor bobiné donnant un courant proportionnel à la f. e. m. induite dans ses spires et dont la valeur dépend directement de $I \sin \Phi$. Les deux systèmes inducteurs devront avoir le même nombre de pôles que l'alternateur à compounder, et seront entraînés directement par sa roue polaire de façon à tourner rigoureusement au synchronisme.

Il ne sera pas possible de placer dans les systèmes inducteurs un double induit à courant continu, puisque la valeur de la tension à chaque collecteur dépendait de la valeur absolue de chaque champ ; mais la f. e. m. alternative recueillie aux deux bagues d'un bobinage monophasé aura une valeur maxima qui dépendra essentiel-

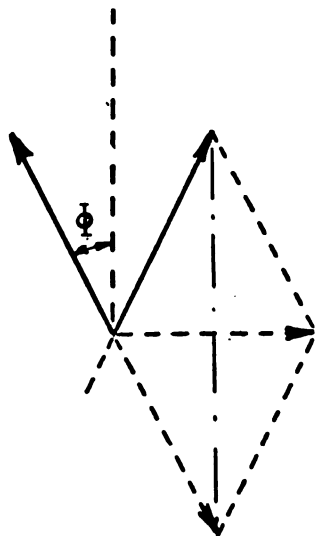


Fig. 12. — Composition des flux obtenus.

lement de $I \sin \Phi$, et qui pourra être redressée pour donner le courant continu de l'excitation supplémentaire.

» La réalisation pratique peut être conçue comme suit :

» A. — Deux couronnes de tôles, portant à la périphérie intérieure un bobinage polyphasé alimenté par les secondaires des transformateurs de courant, placés sur chacun des circuits de phase de l'alternateur à compounder, constituent les inducteurs. Ces couronnes montées dans des carcasses munies de dentures coniques extérieures sont entraînées en sens inverse par une roue d'angle montée sur le bout de l'arbre de l'alternateur, et l'une d'elles entraîne l'induit dans un mouvement solidaire et synchrone. Le sens de la rotation de l'induit peut être quelconque.

» Le calcul de chacun de ces groupes ne présente aucune difficulté. Connaissant le nombre d'ampères-tours maximum à compenser, on choisira la valeur de l'intensité correspondante et par suite de la tension de la machine. Comme cette tension est produite

par l'action simultanée de deux champs faisant entre eux un angle $\pi - 2\Phi$, l'intensité de chacun de ces champs peut être aisément déterminée et, par conséquent, tous les éléments du circuit d'excitation sont connus. Il est aisé d'en déduire les éléments du circuit induit.

» B. — Pour obtenir une f. e. m. proportionnelle à $I \sin \Phi$ et variant avec les deux termes de cette expression, on pourrait encore combiner les deux champs inducteurs; les bobinages d'excitation alimentés par les courants de l'alternateur seraient placés respectivement dans deux couronnes tournant en sens inverse, disposées concentriquement, l'une extérieure, l'autre intérieure. On obtiendrait dans l'entrefer un champ qui serait la résultante des deux champs inducteurs, et qui serait proportionnel à $2I \sin \Phi$, en négligeant les fuites.

» D'autre part, les conducteurs induits seront disposés dans les encoches d'une des couronnes, et les extrémités des fils seront reliées à un collecteur ordinaire. Supposons que l'alternateur fournisse aux circuits extérieurs un courant total I dans chaque fil et soit Φ le décalage total; soit Mi le nombre d'ampères-tours à placer sur l'ensemble des pôles pour la compensation du flux en opposition correspondant à cette valeur de I et de Φ . Soit e la f. e. m. constante obtenue au collecteur; la puissance fournie au circuit d'excitation supplémentaire sera ei . Appelons enfin N le nombre de tours par seconde de chacune des couronnes, $2p$ leur nombre de pôles et n le nombre total des conducteurs induits, F le flux d'un des circuits magnétiques dans l'induit. La f. e. m. induite sera, si les circuits divers sont groupés en série,

$$e = p N n F. 10^{-8}.$$

» Le courant $i = \frac{e}{r}$ si nous supposons les circuits sans self-induction et si r est la résistance totale de l'induit et des circuits extérieurs.

» Le champ F qui agit sur les conducteurs induits est la résultante de divers champs : 1° champ dû aux conducteurs du rotor I portant deux circuits, l'un inducteur, l'autre induit; nous supposons ce rotor intérieur à l'autre, y compris le champ de fuites de ce rotor; 2° champ dû aux conducteurs du rotor II diminué des champs

que la réaction d'induit due aux courants continus soit très faible, en second lieu que les f. e. m. induites modifient aussi peu que possible la phase, et enfin il faut que les fuites soient très faibles. On choisira des inductions assez basses de l'ordre de celles qu'on adopte dans les moteurs synchrones. Mais même avec ces valeurs, les dimensions de l'appareil seront très réduites, comme un calcul sommaire peut le faire voir. Pour un courant de pleine charge de 40 ampères, la composante $Ix, \sin \Phi$ varie comme l'indique le Tableau ci-dessous :

Sin Φ	0,50	0,707	0,865	0,967
Composante à compenser.	36,6	51,7	63,0	70,6

» Pour $\Phi = 60^\circ$ ou $\cos \varphi = 0,67$ le courant supplémentaire à fournir à l'excitation est de 1,8 ampère, et la puissance de la machine auxiliaire 216 watts. A la vitesse de 1200 tours les dimensions de cette machine seront fort réduites. Nous ajouterons que ce système de compoundage va être essayé prochainement sur une machine de grande puissance.

APPENDICE I.

» A. *Méthode de Potier.* — Pour déterminer les coefficients α et λ de la méthode de Potier, nous avons construit (*fig. 7*) le triangle ABC à partir du point C, correspondant à la valeur de la tension aux bornes pour $I = 40$ ampères et $\cos \varphi = \frac{\pi}{2}$. Le côté BC est égal à OI et le côté BA est parallèle à la partie droite de la caractéristique. On obtient ainsi le point A. Les droites AB et BC déterminent les valeurs

$$\lambda = 3,13,$$

$$\alpha = 0,78.$$

» Pour comparer les résultats obtenus par cette méthode à ceux fournis par l'expérience, nous avons tracé (*fig. 14*) le diagramme des vecteurs pour $I = 40$ ampères et $\cos \varphi = 0,83$.

» OA représente le courant d'excitation donnant à vide $E = 220$ volts;

» AB = αI rapporté à l'excitation ;

» OC = 220 volts ;

» BC = λI perpendiculaire au courant I .

» La tension aux bornes trouvée ainsi est de 166 volts = OB, alors qu'en réalité elle est un peu inférieure, environ 160.

» Cf. POTIER, *Sur la réaction d'induit des alternateurs* (*Écl. élect.*, t. XXIV, 1900, p. 133; *Ibid.*, t. XXI, p. 192).

» B. *Méthode de Behn-Eschenburg.* — Avec le courant $I = 40$ ampères et $\cos \varphi = 0,8$; on voit dans la figure 8 que la tension aux bornes est de 156 volts;

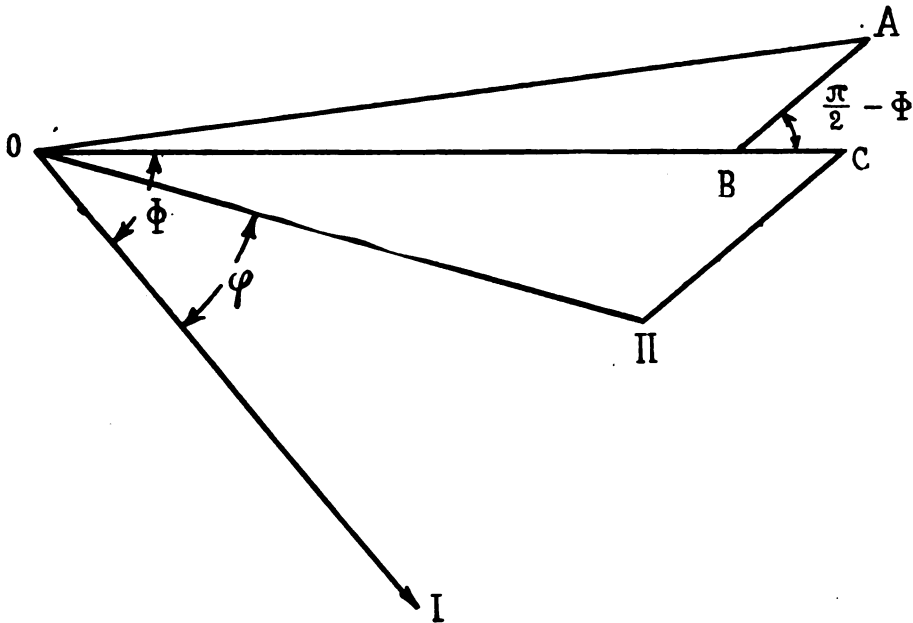


Fig. 14. — Méthode de Potier.

d'autre part, la f. e. m. induite au court-circuit est de 95 volts (fig. 7). En construisant le triangle des tensions, on voit que la f. e. m. induite devrait être dans ces conditions de 228 volts alors qu'en réalité elle est de 220 volts. Dans la figure 15,

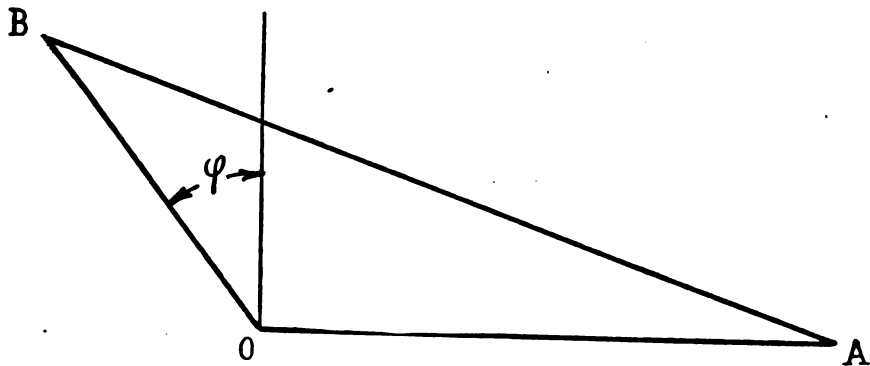


Fig. 15. — Méthode Behn-Eschenburg.

OA est la tension aux bornes, OB est la tension de court-circuit, BA la f. o. m. agissante.

» Cf. BEHN-ESCHENBURG, *Spannungsabfall in Wechselstrommaschinen* (E. T. Z., 1892, p. 651; *Ibid.*, 1896, p. 770).

» C. *Méthode de Rothert*. — Par cette méthode, on peut trouver le courant d'excitation nécessaire pour obtenir en charge une tension déterminée aux bornes, avec un $\cos \varphi$ quelconque. Dans le cas précédent, $I = 40$ ampères, $\cos \varphi = 0,8$ et, par la construction du triangle des courants (*fig. 16*), courant d'excitation correspondant à

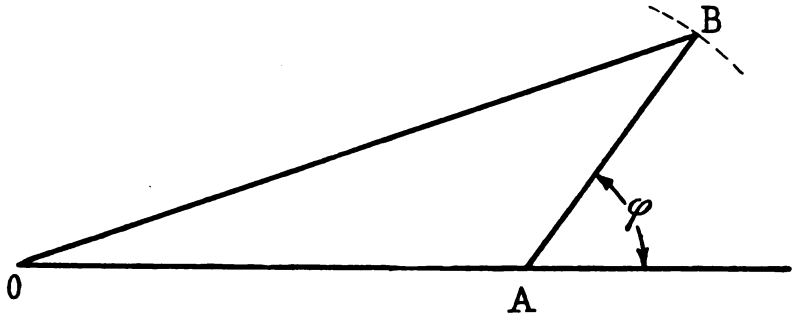


Fig. 16. — Méthode de Rothert.

la tension aux bornes = OA, courant de court-circuit rapporté à l'excitation = AB, on trouve le courant OB de 4,8 ampères, un peu plus faible que le courant de 5,6 ampères relevé aux essais.

» Cf. ROTHERT, *Spannungsabfall von Wechselstromgeneratoren* (*E. T. Z.*, 1902, p. 56, 185, 354, 487; *Ibid.*, 1899, p. 619, 637, 657, 671, 724, 893).

» BEHREND a étudié en 1903 l'approximation des méthodes de Potier et Behn-Eschenburg. Il a vu qu'en les appliquant on obtenait pour la tension en charge inductive deux séries de valeurs, les unes supérieures, les autres inférieures à la réalité. Il a remarqué en outre que, dans les machines triphasées, la courbe réelle est à peu près la moyenne des deux précédentes, tandis que, dans les machines monophasées, la courbe réelle se rapproche beaucoup de la courbe la plus défavorable.

» Cf. A. BEHREND, *Regulation of alternators* (*Trans. of the Amer. Inst. of Elect. Eng.*, 1903, p. 497).

» En plus des travaux signalés ci-dessus et des références données dans ce travail, on pourra lire utilement, pour se rendre compte des étapes successives de la question, les articles publiés dans les Revues françaises, dont on trouve une bibliographie complète dans P. JANET, *Leçons d'Électrotechnique générale*, t. II, p. 185 et 303.

» Voir aussi : J. REY, *Prédétermination de la chute de tension dans les alternateurs*. (*Ind. élect.*, 1901, p. 221).

» L. DRUCKERT, *Application des diverses méthodes de la détermination de la chute de tension des alternateurs* (*Écl. élect.*, t. XLII, 1905, p. 401, 441, 481).

» R.-V. PICOU, *Prédétermination des conditions de fonctionnement des machines dynamo-électriques* (*Lum. élect.*, 2^e série, t. V, p. 39).

» P. GIRAULT, *Sur les essais des alternateurs* (*Lum. élect.*, 2^e série, t. V, p. 327).

» ARNOLD, *Ankerrückwirkung bei Drehstromgeneratoren* (*E. T. Z.*, 1902, p. 250).

» C.-F. GUILBERT, *Sur la détermination expérimentale de la f. e. m.* (*Electrical World*, 1904; *Écl. élect.*, t. XLII, p. 223).

» TORDA, *Prédétermination de la caractéristique en court-circuit des alternateurs* (*E. T. Z.*, mai 1905; *Écl. élect.*, t. XLIV, p. 113).

» SUMEC, *Réaction d'induit dans les alternateurs polyphasés* (*Écl. élect.*, t. XLVI, p. 304).

» Pour le calcul des réactances on consultera :

» HOBART et PUNGA, *A contribution to the theory of the regulation of alternators* (*Trans. of the Am. Inst. of Elect. Eng.*, 1904, p. 291).

» CANFIELD, *Calculation of alternator regulation* (*Electrical World*, t. XLIV, 1904, p. 369).

» C.-F. GUILBERT, *Sur la théorie de la régulation des alternateurs* (*Electrical World*, 1904; *Écl. élect.*, t. XLII, p. 339). L'auteur y discute les données fournies par Hobart et Punga dans l'article cité plus haut.

» Du même auteur, *Sur le calcul des ampères-tours équivalents des enroulements* (*Electrical World*, 1904; *Écl. élect.*, t. IX, p. 57).

» A. BLONDEL, *Regulation of alternators* (*Rapports au Congrès de Saint-Louis*, 1904, t. I, p. 666).

» M. SCHENKEL, *Determination of the leakage of alternating-current windings* (*Electrician*, 1909, p. 595).

» J. REZELMAN, *Réactance de dispersion* (*Lum. élect.*, t. VI, 2^e série, p. 366).

APPENDICE II.

» Sur l'importance et les avantages du compoundage par la compensation directe des ampères-tours d'armature. on peut consulter :

» M. LEBLANC, *De l'influence de la self-induction sur l'utilisation des matériaux dans les machines à courants alternatifs* (*Écl. élect.*, t. XXI, p. 281).

» A. BLONDEL, *Quelques remarques sur le courant dévatté* (*E. E.*, t. VIII, 1896, p. 400.)

» *IBID.*, *Sur le compoundage des alternateurs* (*Congrès international des électriciens*, Paris, 1900, t. II).

» WATERS, *Construction of alternators* (*Trans. of the Amer. Inst.*, t. XX, p. 896).

» MAC FARLANE, Mémoire cité précédemment (*Electrician*, t. II, 18 déc. 1908).

» *Compoundage*. — I. Nous mentionnerons, pour mémoire, l'idée d'obtenir la compensation par une excitation auxiliaire traversée par un courant redressé fourni par un transformateur en série avec l'induit (Solution Zipernowsky, Déri et Blathy, réalisée par Ganz. (Cf. ARNOLD, *Wechselstromtechnik*, t. IV, p. 273, et PICOU, *Machines dynamo-électriques*, p. 277.)

» Heyland a fait breveter un commutateur spécial dont on trouvera la description dans : A. HEYLAND, *Compoundierung von Wechselstromgeneratoren* (*E. T. Z.*, 1903).

» II. *Compoundage au moyen de deux transformateurs*, l'un en série, l'autre en dérivation sur l'induit. Cf. ARNOLD, *Wech. techn.*, t. IV, p. 363..

» Voir aussi CROMPTON, *E. T. Z.*, t. XII, 1904, p. 897.

La transformation du courant alternatif des secondaires en courant continu peut se faire par redresseur ou par commutatrice.

» On trouvera la description des systèmes Westinghouse et Arnold dans : ARNOLD, *Wechs. Techn.*, t. IV, p. 385.

» Pour la description d'un système avec deux commutatrices adopté par l'Alsacienne de Belfort : Cf. Ed. ROTH, *Nouveau système de compoundage* *Écl. élect.*, t. XLVIII, p. 241).

» III. *Excitatrice spéciale*. — Excitatrice à champs tournants de M. Leblanc. [Cf. M. LEBLANC, *Étude sur la transmission et la distribution de l'énergie par courants alternatifs* (*Écl. élect.*, t. XVII, p. 427).] On peut voir aussi sur le même sujet : C. FELDMANN, *Umformer von Leblanc* (*E. T. Z.*, 1901, p. 206).

» Excitatrice à enroulements sinusoïdaux de M. P. Boucherot. Cf. BOUCHEROT, *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, Paris, 1902, p. 446.

» Excitatrice à réaction de M. A. Blondel. Brevets français n° 342 184 et allemand n° 167 564. Cf. *Sur le compoundage des alternateurs par excitatrice à réaction* (*Congrès international d'Électricité*, Paris, 1900, Gauthier-Villars, t. II).

» Excitatrice de M. Danielson, ayant une armature à deux bobinages, dont l'un est traversé par le courant de l'alternateur. Cf. E. DANIELSON, *Methode zum Kompensieren von Wechselstrommaschinen und Resultate von darüber angestellten Versuchen* (*E. T. Z.*, t. XX, 1899, p. 38).

» Voir aussi la Note de A. Blondel, p. 147, et *Écl. élect.*, t. XIX, p. 73.

» Excitatrice de M. Steinmetz, ayant également deux bobinages, l'un à courant continu, l'autre à courant alternatif établi de telle sorte que la f. e. m. produite soit en avance de phase sur celle que produit le champ normal polaire. Cf. STEINMETZ, *Compoundierung von Wechselstromgeneratoren* (*E. T. Z.*, 1901, p. 816).

» BERG, *Compounding of alternators by compensating exciter* (*E. W.*, 1901, 676).

» BAUM, *Comp. of A. C. M.* (*Trans. Amir. Inst.*, 1902, p. 745).

» IV. Compoundage par pôles auxiliaires. Cf. WALKER, *Compensated alternating current generator* (*El. Rev.*, 1904, p. 1081, et *Trans. of Inst. of Elect. Eng.*, t. XXXIV, 1904, p. 402).

» V. Compoundage par entrefers différents aux pôles de noms contraires du générateur ainsi qu'à ceux de l'excitatrice. Cf. A. HEYLAND, *Wechselstrommaschine mit ütilföfeld zur direkten Kompensierung der Ankerrückwirkung* (*E. T. Z.*, 1906, p. 1011; *Écl. élect.*, t. XLIX, p. 81).

Dans le même ordre d'idées : Cf. REZELMAN et PERRET, *Compoundage des alternateurs* (*Écl. élect.*, t. LII, 1907, p. 325).

» VI. Réglage de la tension : a. Par régulateurs électromagnétiques Routin. Cf. BROCK, *Compoundage électromagnétique Routin* (*E. T. Z.*, 1904, et les Notes publiées sur la même question : *Lum. élect.*, 30 juillet 1887; *Écl. élect.*, t. XL, p. 4).

» Voir aussi : C.-F. GUILBERT, *Compoundage par régulateurs Routin* (*Écl. élect.*, t. XXXII, p. 189).

» b. Par le régulateur Thury : celui-ci a été décrit maintes fois.

» Cf. *Ein neues Modell des selbsttätigen Reglers Bauart Thury* (*E. T. Z.*, 1905, p. 824).

» Sur le même sujet : *Écl. élect.*, 1901, p. 160.

» Quant au régulateur Tyrrill, construit par la General Electric Co, on en trouvera la description dans :

» GROSSMAN, *Ueber der selbstätigen Spannungsregler System Tyrill* (*E. T. Z.*, 1907, p. 365).

» DUPUIS, *Régulateur de tension pour alternateurs* (*Écl. élect.*, t. XXXIX, p. 415).

» c. Par résistances variables :

» M. SEIDNER, *Nouveau système de réglage de la tension pour alternateurs* (*E. T. Z.*, 30 avril 1908; *Lum. élect.*, 2^e série, t. II, p. 273).

» Nous indiquerons en outre les types d'alternateur asynchrone à collecteur, compound, auto-excitateur, dus à Leblanc, Heyland, Latour, etc., sur lesquels on trouvera des renseignements complets dans :

» *Trans. of the Amer. Inst. of Eng.*, 1903; *Écl. élect.*, t. XXXI, 1902, p. 50; t. XXIX, 1901, p. 113 et 328; *E. T. Z.*, t. XXII, XXIII, XXIV; *Electrician*, t. LI et LII. »

Enfin, tout récemment, on a proposé une compensation approchée basée sur l'emploi de condensateurs en série avec l'induit.

Cf. LINKE, *Verfahren zur Kompoundierung von Wechselstromgeneratoren durch Serien Kapazität* (*E. T. Z.*, 1909, p. 439).

M. le Président remercie M. Liouville d'avoir bien voulu présenter à la Société l'étude de MM. Dalémont et Herdt, qui a trait au problème si important du compoundage des alternateurs.

La séance est levée à 10^h du soir.

CORRESPONDANCE.

Paris, le 24 octobre 1909.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Me trouvant, à cause des vacances, très en retard dans la lecture des publications techniques, j'ai seulement aujourd'hui sous les yeux le texte de la Communication de M. André sur les *Nouvelles installations téléphoniques de Paris*, publiée dans le n° 86 (juin 1909) du *Bulletin* de la Société. Ceci pour m'excuser de venir si tardivement présenter, au sujet d'un point de cette Communication, une petite observation que vous voudrez bien pourtant, j'espère, accueillir et insérer dans le *Bulletin* de la Société.

M. André, louant le zèle et l'esprit d'initiative du personnel technique de l'Administration française des Postes, Télégraphes et Téléphones, dit que « l'application si utile de l'air comprimé au relèvement de l'isolement des lignes de câbles téléphoniques isolés au papier est due à M. Barbarat, ingénieur des P. T. T. » et ajoute « que c'est vers la fin de 1894 que M. Barbarat fit ses premiers essais du passage de l'air dans des câbles sous plomb isolés au papier ».

Il est exact que l'*application* du procédé de revivification, par un courant d'air sec, des câbles téléphoniques posés en réseaux est due à M. Barbarat. Celui-ci, avant de la réaliser en 1894 sur des câbles isolés au papier, l'a effectuée dès la fin de 1891 sur un câble Fortin-Hermann sous plomb, de 5^m de long, renfermant des conducteurs isolés par des perles de bois ⁽¹⁾.

Mais je tiens à revendiquer pour mon père, Eugène Jacquin, mort en 1903, qui fut inspecteur à la vérification du Matériel des Postes, Télégraphes et Téléphones, et membre fondateur de notre Société, l'honneur de l'*invention* du procédé de revivification des câbles téléphoniques par circulation d'air sec. C'est en 1886 qu'il imagina de faire passer un courant d'air sec (desséché par du chlorure de calcium et aspiré par une machine pneumatique puis par une trompe à eau, seuls moyens à sa disposition) dans plusieurs bobines de câbles Fortin-Hermann sous plomb, isolés aux perles de bois, qui avaient perdu tout leur isolement en magasin et qui, après passage d'air sec, recouvrèrent un excellent isolement : par exemple, une bobine dont l'isolement kilométrique était tombé à 0,66 mégohm

(1) Article de M. Barbarat sur les *Câbles téléphoniques à circulation d'air sec* dans le fascicule de mai-juin 1894 des *Annales télégraphiques*, p. 196.

remonta à 1127 mégohms; d'autres, tombées à une cinquantaine de mégohms, remontèrent de 1300 à 1700 mégohms. (Le fait a été enregistré dans une Note adressée par mon père aux *Annales télégraphiques* et insérée dans le fascicule de juillet-août 1894 de cette Revue, p. 375). Ces expériences firent l'objet d'un Rapport officiel du 16 septembre 1886 de M. Lagarde, ingénieur de la vérification du Matériel à l'Administration centrale des P. T. T. Toutes les grandes usines françaises de construction de câbles eurent connaissance du procédé imaginé par mon père, et l'usine Fortin-Hermann l'appliqua couramment, à partir de cette époque, pour parfaire l'isolement de ses bobines de câbles après fabrication et avant livraison.

M. Barbarat, dans la Communication qu'il fit à la *Société des Électriciens* en mars 1898 (*Bulletin de la Société*, 1898, p. 119) sur les *Câbles à circulation d'air sec*, s'étant maintenu sur le terrain de l'application du courant d'air sec aux *réseaux* téléphoniques (application que mon père n'avait pu réaliser parce que la pose et l'entretien des lignes dépendaient d'un service tout à fait différent du sien), mon père, par un sentiment de réserve et de modestie exagéré, ne voulut pas formuler de revendication. Mais, à présent qu'il n'est plus, je désire qu'on connaisse ses droits de priorité, que j'ai déjà signalés en 1907 dans *La Revue électrique* (15 janvier 1907, p. 26), au cours d'un article d'ensemble sur les câbles télégraphiques et téléphoniques.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments distingués et dévoués.

CHARLES JACQUIN.

Paris, le 29 novembre 1909.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Vous me demandez une note au sujet de la priorité revendiquée très justement par M. Charles Jacquin en faveur de feu son père, que j'ai eu l'honneur de connaître et pour la mémoire duquel j'éprouve une très grande estime.

Je ne puis que vous dire que mon intention n'a jamais été d'enlever à feu M. Eugène Jacquin la part énorme qui lui revient dans cette importante application de l'air comprimé aux câbles Fortin-Hermann sous plomb, isolés aux perles de bois, avant leur livraison; mais ma citation des mérites de M. Barbarat n'avait pour objet que de limiter cette application aux câbles *sous papier faisant partie d'une ligne d'un réseau téléphonique*, car je cite textuellement les mots suivants dans ma conférence de juin 1909,

dans le Chapitre intitulé *Des lignes aériennes et souterraines du réseau français* :

« Il est bon de rappeler que l'application si utile de l'air comprimé à la recherche des défauts qui sont occasionnés à l'enveloppe de plomb *des lignes de câbles isolés au papier* et au relèvement de leur isolement est due à M. Barbarat, ingénieur des P. T. T., actuellement directeur de l'Office tunisien. »

Vous remarquerez que je n'entends, dans cette phrase, parler que des *lignes de câbles isolés au papier*. J'ajoute, de plus, la phrase suivante qui met bien mon idée au point. « C'est vers la fin de l'année 1894 que M. Barbarat fit ses premiers essais du passage de l'air dans les câbles sous plomb isolés *au papier* qui sont de nos jours universellement adoptés dans les *réseaux souterrains*. »

Il était, à mon avis, intéressant de faire connaître que M. Barbarat était parvenu à appliquer l'air comprimé aux câbles isolés *au papier* faisant partie des *lignes du réseau souterrain* de Paris.

Je suis très heureux également de reconnaître tout le mérite qui revient à feu M. Eugène Jacquin pour la très remarquable application de l'air comprimé qu'il fut le premier à faire, en usine, aux câbles Fortin-Hermann sous plomb isolés aux perles de bois. Il est de toute évidence que c'est à lui que revient la genèse de l'idée de l'application en usine de l'air comprimé aux câbles avant leur livraison, dans le but de chercher à relever leur isolement.

Il n'en reste pas moins établi que M. Barbarat fut le premier à rendre cette invention pratiquement utilisable sur des *lignes* d'un réseau téléphonique comprenant des câbles sous plomb isolés *au papier*.

Du reste, les personnes que cela intéresse n'ont qu'à se reporter aux *Annales* de 1894. Le procédé était si peu entré en pratique, que l'usine Fortin-Hermann isolait toutes ses sections de câble par des manchons *non perforés* pour empêcher l'humidité de se répandre dans tout le câble afin de pouvoir remplacer les sections mauvaises, ce qui excluait toute idée de revivification du câble par l'air sec *en ligne*, la seule revivification réellement intéressante au point de vue de l'exploitation des réseaux téléphoniques dont il est question dans ma conférence de juin 1909.

H. ANDRÉ.

BIBLIOGRAPHIE.

Électricité agricole, par A. PETIT. 1 volume de l'*Encyclopédie agricole*.
Paris, J.-B. Baillière et fils, 1909.

Que peuvent faire des électriciens en Agriculture? se demandaient encore bien des gens il y a quelques années, alors que l'Électricité était surtout l'apanage de la grande usine aux savants et méthodiques rouages.

M. A. Petit répond aujourd'hui qu'ils y avaient sans doute fort à faire, puisque, depuis les applications spéciales dues à de hardis novateurs, l'Électricité a peu à peu conquis les champs. On ne parle plus en effet sur des hypothèses ou des probabilités : les faits sont là et ce Livre vient à son heure, pour discuter ces faits et les coordonner.

L'électricité agricole est une application particulière de l'Électricité, au même titre que l'application à la traction, aux industries textiles, à l'industrie chimique. C'est une science spéciale qui réclame la fusion de l'électricien et de l'agronome ; elle a ses règles d'installation et de conduite ; elle a varié comme la terre, comme la production du sol, comme le climat.

Étudier l'application de cette science en se basant sur des applications déjà existantes et faire entrevoir le champ disponible, tel est le but envisagé par l'Auteur. « Ce Volume, dit-il, n'est pas un Traité d'Électricité, c'est un Recueil et une analyse de toutes les relations que l'Agriculture peut industriellement avoir avec l'Électricité. »

C'est ainsi qu'après quelques considérations générales sur l'énergie, sur l'industrie et sur quelques définitions d'électricité, il étudie la production de l'énergie électrique par tous les moyens pratiques connus, examine les facilités de cette production, les conditions de prix, etc., celles du transport et de la distribution de l'énergie électrique. Dans le Chapitre *Utilisation* il s'occupe des applications pratiques de l'Électricité à la ferme, celles de l'Électrochimie y comprises.

Cet Ouvrage, très documenté et plein d'aperçus judicieux, est complété par la description de nombreuses *installations existantes* et par des notions sur la conduite, l'entretien, les accidents qui surviennent aux installations électriques, ainsi que sur la manière d'étudier un projet et de l'exécuter.

Les trucs du théâtre, du cirque et de la foire, par MAX DE NANSOUTY. 1 volume.
Paris, Armand Colin, 1909.

Au cours de la curieuse exploration qu'il fait entreprendre aux lecteurs de son Livre original, dans les coulisses et les dessous du théâtre et du cirque, M. de Nan-

souty lui dévoile les divers moyens employés pour produire l'illusion. Parmi ces moyens le plus souvent élémentaires, même pour les *trucs* les plus compliqués et les plus incompréhensibles, figure l'électricité, qui s'y distingue par la souplesse de son application et la variété et les brillants effets.

Œuvres de Pierre Curie, publiées par les soins de la *Société française de Physique*.
1 volume de 621 pages avec 118 figures et 3 planches. Paris, Gauthier-Villars, 1908.

Aucune autre que la plume de celle qui fut sa précieuse et dévouée collaboratrice n'était plus autorisée pour présenter le Volume dans lequel sont coordonnées les œuvres principales de Pierre Curie; aussi ne saurait-on mieux faire pour apprécier cette publication importante que de reproduire un trop court extrait de la Préface dans laquelle M^{me} Pierre Curie a retracé d'une manière saisissante la vie si prématurément interrompue de l'éminent physicien :

« Ce Volume de six cents pages représente l'ensemble de l'œuvre accomplie pendant une vie de travail de plus de vingt-cinq ans. J'espère que ceux qui le liront reconnaîtront dans les Mémoires qui le composent les traits caractéristiques de la mentalité de leur Auteur, et qu'ils n'auront pas de peine à comprendre comment une œuvre aussi considérable peut se trouver renfermée dans cet unique Volume. Le lecteur n'y trouvera en effet rien de superflu; on y rencontre bien rarement des superpositions ou des répétitions; on n'y trouve ni discussions confuses ou peu utiles, ni descriptions détaillées de toutes les expériences exécutées. Seules sont décrites et exposées dans chaque Mémoire les expériences qui conduisent à des résultats clairs et bien établis, et l'Auteur évite avec soin tout abus dans les conclusions. Je n'en puis citer de meilleur exemple que le Mémoire sur le Magnétisme, si riche en résultats expérimentaux, et dont les conclusions théoriques très limpides, en vue desquelles d'ailleurs le travail a été entrepris, sont énoncées d'une manière aussi sobre que possible dans la seconde moitié de la page 233 du présent Volume. De même dans les Mémoires théoriques, seuls ont été présentés les raisonnements qui, à force d'être mûris, ont pris une forme pour ainsi dire irréprochable. Dans les deux cas, la forme d'exposition, qu'il voulait claire et simple, est extrêmement soignée, surtout quand il s'agit d'une définition ou d'une notation.

» Le triage scrupuleux du texte, la perfection de la forme, la précision et la clarté des énoncés fondamentaux donnent à l'œuvre publiée par Pierre Curie un caractère pour ainsi dire classique, et permettant dans bien des cas de faire rentrer certains de ses Mémoires dans une rédaction plus vaste sans aucune modification. »

Ajoutons seulement qu'une fort belle héliogravure, placée en frontispice, reproduit le portrait de Pierre Curie, admirable d'expression et de ressemblance, et que les Mémoires publiés sont catalogués dans les huit Chapitres suivants :

I. Recherches sur la détermination des longueurs d'onde des rayons calorifiques à basse température. — II. Cristallographie. Pyro-électricité. Piézo-électricité. — III. Équations réduites. Mouvements amortis. — IV. Sur la conductibilité des diélectriques solides, etc. — V. Propriétés magnétiques des corps. — VI. Radioactivité. — VII. Expériences diverses à faire avec une balance (*Manuscrit inédit*). — VIII. Appareils.

Aide-mémoire de poche de l'électricien, guide pratique à l'usage des ingénieurs, monteurs, amateurs, électriciens, etc., par MM. Ph. Picard et A. David. 3^e édition, par MM. A. DAVID et L. CREMEL. 1 volume. Paris, Librairie polytechnique, Ph. Béranger, 1910.

Grâce à son format spécial, l'*Aide-mémoire de poche* dont MM. A. David et L. Cremel viennent de mettre à jour la 3^e édition est assez portatif malgré les 900 pages de matière qu'il comporte.

Matière afférente à tout ce qui concerne la pratique de l'électricité et notamment : Moteurs à courant continu, courant alternatif, alternateurs et leurs caractéristiques, etc. Pertes et échauffements des machines électriques. Accumulateurs. Installation; montage et mise en route des batteries à poste fixe; conducteurs nus et isolés; calcul des conduites; pose des conducteurs. Appareils de mesure industriels. Éclairage et photométrie; canalisations. Étude de projets. Traction électrique. Galvanoplastie, etc. Enfin 300 pages de documents administratifs et divers.

Ce travail résume une foule de renseignements et de données très utiles, et il semble, pour cette raison, qu'une Table alphabétique, au moins sommaire, contribuerait à y faciliter des recherches que les Auteurs tendent louablement à simplifier.

Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1910.

1 volume. Paris, Gauthier-Villars.

Cet excellent Recueil, que tout le monde aujourd'hui est appelé à consulter, renferme cette année, avec les documents astronomiques habituels, des Tableaux relatifs à la Physique : Éléments magnétiques, correction et comparaison des baromètres et des thermomètres, dilatation des liquides, tension de vapeur, élasticité et frottement des solides, viscosité des gaz, etc.

La partie concernant la Chimie contient des Tables relatives aux corps simples, des données thermochimiques, ainsi que divers Tableaux se rapportant aux principaux alliages, à la composition des différents combustibles, etc.

Il publie, en outre, deux intéressantes Notices : l'une de M. Baillaud sur la *Réunion du Comité international de la Carte du Ciel*; l'autre de M. Lallemant sur les *marées de l'écorce terrestre*.

Le pyromètre thermo-électrique pour la mesure des températures élevées, par H. PÉCHEUX. 1 volume de *L'Encyclopédie des Aide-mémoire*. Paris, Gauthier-Villars et Masson et C^{ie}.

L'auteur fait ressortir dans cet Ouvrage l'importance du pyromètre thermo-électrique pour les industries qui emploient les températures élevées et qui ont besoin de connaître ces températures avec une exactitude suffisante, en montrant les avantages de cet appareil, comment on le construit et la commodité de son utilisation.

Au début du Livre, il expose quelques considérations générales sur l'évaluation des températures; puis il indique les lois de la thermo-électricité permettant de comprendre la construction et le fonctionnement d'un couple thermo-électrique; il décrit la construction et l'installation d'un pyromètre, et les précautions à prendre pour obtenir des résultats exacts.

L'Ouvrage se termine par l'étude des couples les plus aptes à remplir l'office de pyromètre, en commençant par celui de M. Le Chatelier, qui occupe la première place par sa comparabilité à lui-même. Les ingénieurs et les industriels y trouveront des renseignements précieux sur le choix des métaux et sur la manière d'utiliser avantageusement les couples pyrométriques.

Initiation à la Mécanique, par CH.-ED. GUILLAUME. 1 volume de la Collection des *Initiations scientifiques*. Paris, Hachette et C^{ie}, 1909.

D'après M. C.-A. Laisant, fondateur de cette collection toute spéciale, les volumes qui la composent sont destinés, entre les mains de l'éducateur, à servir de guide pour la formation de l'esprit des tout jeunes enfants, de 4 à 12 ans, afin de meubler leur intelligence de notions saines et justes, et de les préparer à l'étude, qui viendra plus tard, sans aucun appel direct à leur mémoire.

Ce petit Livre n'est pas un manuel à faire apprendre : il faut seulement s'en inspirer et non pas le suivre servilement.

M. Ch.-Ed. Guillaume complète admirablement cette pensée dans la Préface de son *Initiation à la Mécanique*, petit chef-d'œuvre de savant, en disant : « Convier l'enfant à la découverte des lois que la Mécanique rassemble, y procéder avec lui, c'est lui enseigner la méthode scientifique et lui donner la foi dans la mission élevée de la Science; c'est aussi l'amener à penser avec précision, car la simplicité des principes de la Mécanique entraîne leur rigoureuse certitude, dans la forme qui les énonce. Lorsque l'enfant aura compris ces principes, et il faut pour cela qu'ils aient pénétré en lui par la voie de l'expérience, il sera excellemment préparé à aborder toutes les autres études, faisant appel à une pensée plus complexe et plus mûre. »

Préparation à l'étude de la Mécanique; exposé des principes; développements et applications : tels sont les titres de la méthode d'initiation développée dans ce Livre. L'Auteur y emploie une simplicité voulue de style et d'expression bien adéquate à la jeune intelligence dont il appelle et retient ainsi l'attention, et qu'il achève de captiver par l'explication raisonnée des plus ordinaires parmi les nombreux exemples que fournit l'observation journalière.



LISTE DES OUVRAGES

OFFERTS A LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ELECTRICIENS.

(Suite.)

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société, tous les jours
de 3 heures à 6 heures, excepté les dimanches et jours de fêtes,
12, rue de Staël.

France.

*Annuaire pour l'an 1910, publié par le Bureau des Longitudes avec des
Notices scientifiques.* Paris, Gauthier-Villars, s. d.; 1 vol. in-16, broché.
(Don de l'éditeur.)

*Étude complémentaire sur la stabilité du matériel des chemins de fer.
Théorie des déraillements, profil des bandages,* par Georges MARIE. Paris,
Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. grand in-8°, broché (fig.) (Don des édi-
teurs.)

Initiation à la Mécanique, par Ch.-Ed. GUILLAUME, 2^e édition, revue. Paris,
Hachette et C^e, 1909; 1 vol. in-16, broché (fig.) (Collection des initiations
scientifiques). (Don de l'auteur.)

Leçons d'Électrotechnique générale, professées à l'École supérieure d'Élec-
tricité, par P. JANET, 3^e édition, revue et augmentée, t. II. Paris, Gauthier-
Villars, 1910; 1 vol. in-8°, broché (fig.). (Don de l'éditeur.)

Oscillations et lacet des véhicules de chemins de fer, par Georges MARIE,
Paris, Dunod et Pinat, 1909; 1 vol. in-8, broché (fig.). (Don des édi-
teurs.)

Sur le choix des unités électrogènes pour les grandes centrales à vapeur,
par DELLA RICCIA (Extrait de *La Revue électrique*, numéro du 15 octobre
1909). Paris, Gauthier-Villars, 1909; 1 brochure in-4°. (Don de l'auteur.)

Téléphonie (la), par Émile PIERARD, t. I, 3^e édition. Paris, Dunod et Pinat,
1909; 1 vol. in-8°, broché. (Don de M. E.-H. André.)

Théorie (la) des courants alternatifs, par Alexandre RUSSELL. Traduit de
l'anglais par SELIGMANN-LUI, t. II. Paris, Gauthier-Villars, 1910; 1 vol.
in-8°, broché (fig.). (Don de l'éditeur.)

Théorie des moteurs thermiques, par E. JOUGUET. Paris, O. Doin et fils,

1909; 1 vol. in-18 jésus, cartonné toile (fig.) (*Encyclopédie scientifique* publiée sous la direction du Dr Toulouse). (*Don des éditeurs.*)

Traité de Physique, par O.-D. CHWOLSON. Ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande par E. DAVAUX, t. 1, 4^e fasc. Paris, A. Hermann et fils, 1908; 1 vol. in-8^o, broché (fig.). (*Don des éditeurs.*)

Étranger.

The Bell Telephone. The Deposition of Alexander Graham Bell in the suit brought by the United States to annul the Bell Patents. Boston, American Bell Telephone Co, 1908; 1 vol. in-8^o, relié toile. (*Don de M. E.-H. André.*)

Travaux récents exécutés à Genève sur la revision des poids atomiques. par Ph.-A. GUYE. Genève, Bureau des Archives des Sciences physiques et naturelles, 1909; 1 brochure in-8^o. (*Don de l'auteur.*)



TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME IX (2^e SÉRIE).

Bibliographie.

	Page
Agenda Dunod pour 1909, par M. J.-A. Montpellier.....	277
Aide-Mémoire de poche de l'Électricien, par MM. A. David et L. Cremel.....	725
Année électrique, électrothérapie et radiographique, en 1908 (L'), par M. le D ^r Foveau de Courmelles.....	276
Annuaire des Longitudes pour 1909.....	48
Annuaire des Longitudes pour 1910.....	725
Atmosphärische Elektrizität. Methoden und Ergebnisse der modernen Luftelek- trischen Forschung (Die), par MM. H. Mache et E. v. Schwelker.....	278
Calcul électrique et mécanique des distributions d'énergie, par M. J.-H. Jacobsen.....	276
Conditions d'équilibre électromagnétique dans les lignes aériennes et les câbles, par M. K.-W. Wagner.....	134
Consommation des chaudières à vapeur et l'économie de combustible (La), par M. D. Sidersky.....	647
Construction des induits à courant continu, par MM. E.-J. Brunswick et M. Aliamet.....	648
Construction des induits à courant continu, coussinets, paliers, etc., par MM. E.-J. Brunswick et M. Aliamet.....	49
Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité, par M. A. Monmerqué.....	278
Dynamobau, Berechnung und Entwerfen der elektrischen Maschinen und Trans- formatoren, par M. K. Pichelmayer.....	193
Éclairage privé et la force motrice dans le droit privé (gaz, acétylène, électri- cité) (L'), par M. E. Carpentier.....	132
Électricité agricole, par M. A. Petit.....	723
Électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier (L'), par M. E. Rosenberg.....	192
Électrométallurgie, par M. Ad. Minet.....	50
Électrotechnique exposée à l'aide des Mathématiques élémentaires (L'), par MM. N.-A. Poquet, A.-C. Bocquier et J.-A. Montpellier.....	415
Éléments de la théorie des probabilités, par E. Borel.....	478
Étude du retour par la terre des courants industriels, par MM. Barbillion et Brylinski.....	133
Études sur Léonard de Vinci, par M. P. Duhem.....	647
Formulaire de l'Électricien et du Mécanicien, par M. G. Roux....	414

	Pages
Fours électriques et leurs applications (Les), par M. Ad. Minet	49
Four électrique, son origine, ses transformations et ses applications (Le), par M. Ad. Minet	278
Génératrices électriques à courant continu, par MM. H.-M. Hobart et F. Achard	132
Guide-Manuel pratique de l'ouvrier électricien, par M. H. de Graffigny	56
Initiation à la Mécanique, par M. Ch.-Ed. Guillaume	725
Introduction à la théorie de Maxwell de l'Électricité et du Magnétisme, par M. le Dr C. Schaeffer	134
Kraftfelder (Die), par M. V. Bjerknes	275
Leçons d'Électrotechnique générale, par M. P. Janet	193
Leçons sur le carbone, la combustion, les lois chimiques, par M. H. Le Chatelier	326
Machines-outils, par M. P. Gorgeu	411
Machinisme (Le), son rôle dans la vie quotidienne, par M. Max de Nansouty	276
Manuel d'Électrotechnique, par M. A. Thomaelen	192
Manuel pratique pour l'application des nouveaux règlements sur les distributions d'énergie électrique, par M. P. Bougault	132
Merveilles de la Science (Les), par M. Max de Nansouty	274
Oeuvres de Pierre Curie, publiées par les soins de la Société française de Physique	724
Oscillations électromagnétiques (Les), par M. J. Zenneck	649
Propriétés électriques et l'emploi du sélénium en Électrotechnique (Les), par M. le Dr Chr. Ries	131
Pyromètre thermo-électrique pour la mesure des températures élevées (Le), par M. H. Pécheux	725
Radiations des corps minéraux, recherches des mines et des sources par leurs radiations (Les), par M. Mayer	330
Rayons cathodiques (Les), par M. P. Villard	48
Recueil de problèmes avec solutions, sur l'Électricité et ses applications pra- tiques, par M. H. Vieweger	330
Réglage des groupes électrogènes (Le), par M. J.-L. Routin	415
Solutions développées de problèmes de Physique, par M. A. Locquin	330
Télégraphie sans fil et la Télémécanique à la portée de tout le monde (La), par M. E. Monier	48
Télégraphie sans fil et les applications pratiques des ondes électriques (La), par M. A. Turpain	415
Téléphonie (La), par M. E. Piérard	648
Téléphonie et Télégraphie sans fil (La), par M. A. Berthier	131
Téléphonie sans fil, par M. E. Ruhmer	277
Traction électrique, par M. G. Sattler	193
Traité complet d'Analyse chimique appliquée aux essais industriels, par MM. J. Port et B. Neumann	331
Traité de Mécanique générale, par M. E. Fabry	329
Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques, par M. S.-P. Thompson	274
Trucs du théâtre, du cirque et de la foire (Les), par M. Max de Nansouty	723
Unités électriques, par M. le comte de Baillehache	413

Communications diverses.

	Pages
Allocution de M. Boucherot.....	267
Allocution de M. Pellat.....	284
Assemblée générale annuelle du 7 avril.....	197
Bibliographie.....	48, 131, 192, 274, 329, 413, 477, 647
Comité d'Administration (Rapport du).....	202
Comité d'Administration (Renouvellement partiel du).....	140
Commission des Comptes, Rapport de l'exercice 1908, par M. Eschwège, rapporteur.....	199
Correspondance.....	56, 273, 282, 720
Dons.....	56, 141, 566, 654
École supérieure d'Électricité (Liste des élèves diplômés).....	563
Laboratoire central et l'École supérieure d'Électricité (Compte rendu sur le), par M. Janet.....	204
Membres décédés.....	8, 55, 139, 199, 334, 418, 566, 654
Membres titulaires (Admission de).....	6, 54, 138, 198, 282, 333, 418, 566, 654
Ouvrages offerts (Liste des).....	51, 135, 193, 279, 332, 416, 479, 651, 727
Réunions ordinaires mensuelles du 6 janvier 1909.....	5
Id. Id. 3 février 1909.....	53
Id. Id. 3 mars 1909.....	137
Id. Id. 7 avril 1909.....	197
Id. Id. 5 mai 1909.....	281
Id. Id. 2 juin 1909.....	333
Id. Id. 7 juillet 1909.....	417
Id. Id. 3 novembre 1909.....	565
Id. Id. 1 ^{er} décembre 1909.....	653
Situation financière et bilan.....	214
Table alphabétique des auteurs.....	733
Table alphabétique des matières.....	729

Communications techniques.

Ampèremètre thermique pour courants de forte intensité et de grande fréquence, par M. A. Broca.....	423
Appareil pour la mesure des courants téléphoniques et en général des courants périodiques de grande fréquence et de très faible intensité, par M. le Professeur R. Arno.....	219
Application du rhéographe à l'étude de divers phénomènes, par M. Abraham....	459
Conditions du problème de la traction (Sur certaines), par M. de Traz.....	299
Discussion de la Communication de M. Bourdel, sur la traction par courant continu à intensité constante, par MM. Legouez, Bourdel, Perret.....	321, 397
Discussion de la Communication de M. Brunswick, par M. Boucherot.....	636
Discussion de la Communication de M. Brylinski, par MM. Boucherot, Pellat, Janet, Devaux-Charbonnel.....	20
État actuel des lampes à incandescence à filaments métalliques, par M. Blondel.....	79

	Pages
Étude du rayonnement des lampes à incandescence à filament métallique, par MM. Féry et Chéneveau.....	655
Lignes téléphoniques homogènes (Les), par M. Devaux-Charbonnel.....	567
Méthode nouvelle pour compounder les alternateurs, par MM. Dalémont et L. Herdt.....	691
Méthodes de calcul des projets de traction, par M. Parodi.....	151
Note sur les liaisons des postulats de la Mécanique avec des équations dites de dimensions des grandeurs électriques, par M. P. Juppont.....	529
Nouvelles installations téléphoniques de Paris, par M. André.....	335
Quelques réflexions au sujet du système électromagnétique, par M. Pellat.....	143
Quelques réflexions sur les propositions de M. Juppont, par M. Brylinski.....	553
Quelques réflexions sur les systèmes de mesure, par M. Brylinski.....	9
Remarque sur la stabilité de l'arc de Poulsen, par M. Tissot.....	451
Remarques sur les cas de déraillement des perches de trolley en système désaxé, par M. G. Duez.....	419
Remarques sur les systèmes d'unités, à propos de la Communication de M. Brylinski, par M. D. Berthelot.....	57
Résultats d'essais effectués au Laboratoire central d'Électricité sur les lampes à filaments métalliques, par M. F. Laporte.....	111
Situation actuelle du Système métrique (La), par M. Ch.-Ed. Guillaume.....	35
Téléphonie sans fil (La), par M. Colin.....	427
Températures admissibles dans les dynamos, précédées de détermination d'après les travaux de la première Section, par M. Brunswick.....	585
Théorie électronique des courants et de leurs propriétés, par M. Pellat.....	285
Traction par courant continu à intensité constante, par M. J. Bourdel.....	233
Usine de Saint-Denis (L'), par M. D. Berthelot.....	47
Vie et les Œuvres de M. E. Mascart (La), par M. Janet.....	481



TABLE ALPHABÉTIQUE DES AUTEURS

CITÉS DANS LE TOME IX (2^e SÉRIE).

	Pages
ABRAHAM. — Application du rhéographe à l'étude de divers phénomènes.....	459
ACHARD (F.) et HOBARD (H.-M.). — Génératrices électriques à courant continu (<i>Bibl.</i>).....	132
ALIAMET (M.) et BRUNSWICK (E.-J.). — Constructions des induits à courant continu, coussinets, paliers, etc. (<i>Bibl.</i>).....	49
ALIAMET (M.) et BRUNSWICK (E.-J.). — Construction des induits à courant continu (<i>Bibl.</i>).....	648
ANDRÉ. — Nouvelles installations téléphoniques de Paris.....	335
ANNUAIRE du Bureau des Longitudes pour 1910 (<i>Bibl.</i>).....	725
ARNO (R.). — Appareil pour la mesure des courants téléphoniques et en général des courants périodiques de grande fréquence et de très faible intensité ...	219
BAILLEHACHE (Comte de). — Unités électriques (<i>Bibl.</i>).....	413
BARBILLION et BRYLINSKI. — Étude du retour par la terre des courants industriels. (<i>Bibl.</i>).....	133
BERTHELOT (D.). — L'Usine de Saint-Denis.....	47
BERTHELOT (D.). — Remarques sur les systèmes d'unités, à propos de la Communication de M. Brylinski.....	57
BERTHIER (A.). — La Téléphonie et la Télégraphie sans fil (<i>Bibl.</i>).....	131
BJERKNES (V.). — Die Kraftfelder (<i>Bibl.</i>).....	275
BLONDEL (A.). — État actuel des lampes à incandescence à filaments métalliques.	79
BOREL (E.). — Éléments de la théorie des probabilités (<i>Bibl.</i>).....	478
BOUCHEROT. — Allocution.....	267
BOUCHEROT. — Discussion de la Communication de M. Brunswick.....	636
BOUCHEROT, PELLAT, JANET, DEVAUX-CHARBONNEL. — Discussion de la Communication de M. Brylinski.....	20
BOUGAULT (P.). — Manuel pratique pour l'application des nouveaux règlements sur les distributions d'énergie électrique (<i>Bibl.</i>).....	132
BOURDEL (J.). — Traction par courant continu à intensité constante.....	233
BOURDEL, PERRET et LEGOUZ. — Discussion de la Communication de M. Bourdel sur la traction par courant continu à intensité constante.....	321, 397
BROCA. — Ampèremètre thermique pour courant de forte intensité et de grande fréquence.....	423
BRUNSWICK. — Températures admissibles dans les dynamos : procédés de détermination (d'après les travaux de la première Section).....	585
BRUNSWICK (E.-J.) et ALIAMET (M.). — Construction des induits à courants continu, coussinets, paliers, etc. (<i>Bibl.</i>).....	49

	Pages
BRUNSWICK (E.-J.) et ALIAMET (M.). — Construction des inducts à courant continu (<i>Bibl.</i>).....	648
BRYLINSKI. — Quelques réflexions sur les systèmes de mesure.....	9
BRYLINSKI. — Quelques réflexions sur les propositions de M. Juppont.....	553
BRYLINSKI et BARBILLION. — Étude du retour par la terre des courants industriels (<i>Bibl.</i>)	133
CARPENTIER (E.). — L'éclairage privé et la force motrice dans le droit privé (gaz, acétylène, électricité) (<i>Bibl.</i>).....	132
CHÉNEVEAU et FÉRY. — Étude du rayonnement des lampes à incandescence à filament métallique.....	655
COLIN. — La téléphonie sans fil.....	427
CREMEL (L.) et DAVID (A.). — Aide-Mémoire de poche de l'Électricien (<i>Bibl.</i>)..	725
CURIE (Pierre). — Ses Œuvres publiées par les soins de la Société française de Physique (<i>Bibl.</i>).....	724
DALÉMONT et HERDT. — Méthode nouvelle pour compounder les alternateurs....	691
DAVID (A.) et CREMEL (L.). — Aide-Mémoire de poche de l'Électricien (<i>Bibl.</i>)..	725
DEVAUX-CHARBONNEL. — Les lignes téléphoniques homogènes.....	567
DEVAUX-CHARBONNEL, BOUCHEROT, PELLAT, JANET. — Discussion de la Communication de M. Brylinski.....	20
DUCQUIER (A.-C.), MONTPELLIER (J.-A.), et POQUET (N.-A.). — L'Électrotechnique exposée à l'aide des Mathématiques élémentaires (<i>Bibl.</i>).....	415
DUEZ (G.). — Remarques sur les cas de déraillement des perches de trolley en système désaxé.....	419
DUHEM (P.). — Étude sur Léonard de Vinci (<i>Bibl.</i>).....	647
ESCHWÈGE. — Rapport de la Commission des Comptes pour l'Exercice 1908....	199
FABRY (E.). — Traité de Mécanique générale (<i>Bibl.</i>).....	329
FÉRY et CHÉNEVEAU. — Étude du rayonnement des lampes à incandescence à filament métallique.....	655
FOVEAU DE COURMELLES (D.). — L'année électrique, électrothérapique et radiographique en 1908 (<i>Bibl.</i>).....	276
GORGEU (P.). — Machines-outils (<i>Bibl.</i>).....	414
GRAFFIGNY (H. DE). — Guide Manuel pratique de l'ouvrier électricien (<i>Bibl.</i>)...	50
GUILLAUME (Ch.-Ed.). — La situation actuelle du système métrique.....	35
GUILLAUME (Ch.-Ed.). — Initiation à la Mécanique (<i>Bibl.</i>).....	726
HERDT et DALÉMONT. — Méthode nouvelle pour compounder les alternateurs....	691
HOBART (H.-M.) et ACHARD (F.). — Génératrices électriques à courant continu (<i>Bibl.</i>)..	132
JACOBSEN (J.-H.). — Calcul électrique et mécanique des distributions d'énergie (<i>Bibl.</i>).....	276
JANET (P.). — Compte rendu sur le Laboratoire central et l'École supérieure d'Électricité.....	204
JANET (P.). — La vie et les œuvres de M. E. Mascart.....	481
JANET (P.). — Leçons d'Électrotechnique générale (<i>Bibl.</i>).....	193
JANET, DEVAUX-CHARBONNEL, BOUCHEROT, PELLAT. — Discussion de la Communication de M. Brylinski.....	20
JUPPONT (P.). — Note sur les liaisons des postulats de la Mécanique avec des équations dites de dimensions des grandeurs électriques.....	529

	Pages
LAPORTE (F.). — Résultats d'essais effectués au Laboratoire central d'Électricité sur les lampes à filaments métalliques.....	111
LE CHATELIER (H.). — Leçons sur le carbone, la combustion, les lois chimiques (<i>Bibl.</i>).....	329
LEGOUEZ, BOURDEL et PERRET. — Discussion de la Communication de M. Bourdel sur la traction par courant continu à intensité constante.....	321
LOCQUIN (A.). — Situations développées des problèmes de Physique (<i>Bibl.</i>)....	336
MACHE (H.) et SCHWELDER (E.-V.). — Die atmosphärische Elektrizität. Methoden und Ergebnisse der modernen Luftelektrischen Forschung (<i>Bibl.</i>)	278
MAYER. — Les radiations des corps minéraux, recherches des mines et des sources par leurs radiations (<i>Bibl.</i>).....	336
MINET (Ad.). — Les fours électriques et leurs applications (<i>Bibl.</i>).....	49
MINET (Ad.). — Électrometallurgie (<i>Bibl.</i>).....	50
MINET (Ad.). — Le four électrique, son origine, ses transformations et ses applications (<i>Bibl.</i>).....	278
MONIER (E.). — La Télégraphie sans fil et la Télémécanique à la portée de tout le monde (<i>Bibl.</i>).....	48
MONMERQUÉ (A.). — Contrôle des installations électriques au point de vue de la sécurité (<i>Bibl.</i>).....	278
MONTPELLIER (J.-A.). — Agenda Dunod pour 1909 (<i>Bibl.</i>).....	277
MONTPELLIER (J.-A.), POQUET (N.-A.) et DOQUIER (A.-C.). — L'Électrotechnique exposée à l'aide des Mathématiques élémentaires (<i>Bibl.</i>).....	415
NANSOUTY (M. DE). — Le machinisme, son rôle dans la vie quotidienne (<i>Bibl.</i>) ..	276
NANSOUTY (M. DE). — Les merveilles de la Science (<i>Bibl.</i>).....	274
NANSOUTY (M. DE). — Les trucs du théâtre, du cirque et de la foire (<i>Bibl.</i>)....	723
NEUMANN (B.) et PORT (J.). — Traité complet d'Analyse chimique appliquée aux essais industriels (<i>Bibl.</i>).....	331
PARODI. — Méthode de calcul des projets de traction.....	151
PÊCHEUX (H.). — Le pyromètre thermo-électrique pour la mesure des températures élevées (<i>Bibl.</i>).....	725
PELLAT. — Allocution.....	284
PELLAT. — Quelques réflexions au sujet du système électromagnétique.....	143
PELLAT. — Théorie électronique des courants et de leurs propriétés.....	285
PELLAT, JANET, DEVAUX-CHARBONNEL, BOUCHEROT. — Discussion de la Communication de M. Brylinski.....	20
PERRET, BOURDEL, LEGOUEZ. — Discussion de la Communication de M. Bourdel sur la traction par courant continu à intensité constante.....	321
PETIT (A.). — Électricité agricole (<i>Bibl.</i>).....	723
PICHELMAYER (K.). — Dynamobau : Berechnung und Entwerfen der elektrischen Maschinen und Transformatoren (<i>Bibl.</i>).....	193
PIERARD (E.). — La Téléphonie (<i>Bibl.</i>).....	648
POQUET (J.), DOQUIER (A.-C.) et MONTPELLIER (J.-A.). — L'Électrotechnique exposée à l'aide des Mathématiques élémentaires (<i>Bibl.</i>).....	415
PORT (J.) et NEUMANN (B.). — Traité complet d'Analyse chimique appliquée aux essais industriels (<i>Bibl.</i>).....	331
RIES (Ch.). — Les propriétés électriques et l'emploi du sélénium en Électrotechnique (<i>Bibl.</i>).....	131

	Page
ROSENBERG (E.). — L'Électricité industrielle mise à la portée de l'ouvrier (<i>Bibl.</i>)	192
ROUTIN (J.-L.). — Le réglage des groupes électrogènes (<i>Bibl.</i>)	415
ROUX (G.). — Formulaire de l'Électricien et du Mécanicien (<i>Bibl.</i>)	414
RUHMER (E.). — Téléphonie sans fil (<i>Bibl.</i>)	277
SATTLER (G.). — Traction électrique (<i>Bibl.</i>)	192
SCHAEFFER (C.). — Introduction à la théorie de Maxwell de l'Électricité et du Magnétisme (<i>Bibl.</i>)	134
SCHWELDER (E.-V.) et MACHE. — Die atmosphärische Elektrizität. Methoden und Ergebnisse der modernen Luftelektrischen Forschung (<i>Bibl.</i>)	278
SIDERSKY (D.). — La consommation des chaudières à vapeur et l'économie de combustible (<i>Bibl.</i>)	617
THOMAELEN (A.). — Manuel d'Électrotechnique (<i>Bibl.</i>)	192
THOMPSON (S.-P.). — Traité théorique et pratique des machines dynamo-électriques (<i>Bibl.</i>)	274
TISSOT. — Remarques sur la stabilité de l'arc de Poulsen	451
TRAZ (DE). — Sur certaines conditions du problème de la traction	299
TURPAIN (A.). — La télégraphie sans fil et les applications pratiques des ondes électriques (<i>Bibl.</i>)	413
VIEWEGER (H.). — Recueil de problèmes avec solutions, sur l'Électricité et ses applications pratiques (<i>Bibl.</i>)	336
VILLARD (P.). — Les rayons cathodiques (<i>Bibl.</i>)	48
WAGNER (K.-W.). — Conditions d'équilibre électromagnétique dans les lignes aériennes et les câbles (<i>Bibl.</i>)	134
ZENNECK (J.). — Les oscillations électromagnétiques (<i>Bibl.</i>)	649

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Notice.....	3
Décret d'utilité publique	6
Statuts.....	7
Règlement intérieur d'administration	10
Laboratoire central d'Électricité. {	Emplacement du Laboratoire
	14
	Décret, Convention et Actes divers
	15
	Règlement de contrôle.....
	22
	Règlement intérieur.....
	23
	Commission administrative
	26
	Personnel.....
	26
	Tarif des essais et étalonnements.....
	27
École supérieure d'Électricité.... {	Règlement administratif.....
	35
	Commission administrative
	36
	Conseil de perfectionnement.....
	37
	Souscripteurs.....
	39
	Personnel.....
	39
	Organisation de l'Enseignement.....
	40
	Cours et Conférences
	45
	Programme d'admission.....
	47
Comité d'administration	Présidents honoraires.....
	53
	Anciens Présidents
	53
	Membres du Bureau.....
	54
	Membres du Comité
	55
	Sections du Comité
	57
Commission des Comptes	58
Commission consultative.....	58
Membres correspondants.....	59
Donateurs.....	60
Liste générale alphabétique des Membres de la Société	64
Liste par localités	131
Liste des périodiques reçus à la Bibliothèque.....	148
Liste des libraires et éditeurs accordant des remises.....	151

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 7 DÉCEMBRE 1886.

NOTICE.

La Société internationale des Électriciens, fondée dans le courant de l'année 1883 et définitivement constituée par l'Assemblée générale du 15 novembre de la même année, a été reconnue d'utilité publique le 7 décembre 1886.

Dès l'année 1884, la Société commença la publication d'un bulletin mensuel.

La Société a fondé, en 1888, le Laboratoire central d'Électricité, qui avait été institué à Paris par le décret du 24 février 1882 sous la haute direction du Ministre des Postes et Télégraphes; les dons, en argent ou en nature, faits par les Membres de la Société ont beaucoup aidé à cette création. En novembre 1894, la Société fonda une École d'Application qui est aujourd'hui l'École supérieure d'Électricité.

Le Laboratoire et l'École vivent actuellement des subventions de la Société et de leurs revenus propres. Ces deux fondations, qui forment actuellement deux des plus importants services de la Société, sont dues entièrement à son initiative, elles sont la démonstration la plus évidente de son activité et de son utilité.

Séances. — La Société tient ses séances mensuelles dans l'Hôtel de la Société d'Encouragement, 44, rue de Rennes, le premier mercredi de chaque mois, à 8 heures et demie du soir.

L'aménagement de la salle et la facilité de disposer à volonté de l'énergie électrique permettent d'ajouter aux séances l'attrait d'expériences et de projections. Des invitations sont envoyées aux personnes étrangères à la Société, qui en font la demande pour une séance déterminée. Des cartes d'entrée sont également envoyées aux élèves des principales Écoles.

Dans ces séances, la Société entend les Communications techniques qui lui sont présentées et qu'elle provoque au besoin. C'est ainsi qu'au fur et à mesure des progrès de la science électrique, la Société a entendu l'exposé des grandes découvertes de *Hertz*, de *Röntgen*, de *Becquerel*, de *Curie*, et, plus récemment, les théories nouvelles relatives au rôle des *ions*.

Les grandes applications de l'électricité ont donné lieu à de nombreuses Communications. On peut citer parmi les discussions provoquées par la Société : *la traction mécanique dans Paris*, *le couplage des alternateurs*, *l'irrégularité des moteurs à vapeur*, *les effets des surtensions dans les*

câbles, les appareils de protection contre la rupture des conducteurs aériens, la traction électrique, etc. Sur tous ces sujets la collection du *Bulletin* renferme une quantité de documents originaux de haute valeur.

Dans le cours de l'année 1905-1906, la Société a été appelée par le Ministère de la Marine à donner son avis sur un projet de réglementation des conditions à imposer aux fournisseurs du matériel électrique de son Département et les conclusions adoptées par elle ont été rendues officielles. Enfin, la Société a pris l'initiative de la formation du Comité français de la Commission électrotechnique internationale, dont la création a été décidée par le Congrès de Saint-Louis en 1904, et qui a pour but de définir et d'uniformiser les modèles et les méthodes d'essais des machines et appareils électriques.

Commissions. — Afin de faciliter l'étude et la discussion de toutes les questions techniques, le Comité d'administration est divisé en six sections dans lesquelles ses Membres sont groupés par spécialités. Ces sections tiennent des réunions indépendantes des séances mensuelles de la Société et elles y discutent, d'une façon plus complète, toutes les questions qui leur sont soumises ou qu'elles croient devoir étudier. Les résultats de ces discussions sont présentés à la Société dans les séances mensuelles et insérés au *Bulletin*.

Bulletin. — Le *Bulletin* mensuel publie les Communications faites en séance, ainsi que les discussions qui les accompagnent.

Bibliothèque. — La Bibliothèque de la Société renferme un grand nombre d'Ouvrages et une importante collection de périodiques. Tous les Ouvrages offerts à la Société y prennent place, après avoir été l'objet d'un compte rendu analytique dans le *Bulletin* mensuel.

Elle est ouverte tous les jours de 3^h à 6^h, à tous les Membres adhérents, qui peuvent y consulter sur place tous les Ouvrages qu'elle contient.

Laboratoire. — Le Laboratoire central d'Électricité est à la disposition des savants et des industriels, dans les conditions définies par le Règlement d'administration que l'on trouvera ci-après et du Règlement intérieur (voir p. 23). Il offre à l'industrie des moyens de contrôle et d'essai des appareils et matières, dans des conditions de haute précision et de parfaite impartialité. Les résultats des mesures sont consignés dans des certificats signés par le Directeur du Laboratoire. Le nombre des essais demandés par les administrations publiques et par l'industrie suit une progression rapide.

En même temps, le Laboratoire met à la disposition des jeunes gens qui se destinent à l'industrie électrique, et qui possèdent déjà une instruction théorique suffisante, le moyen d'acquérir, par la pratique, la connaissance et l'usage des instruments et des machines.

École supérieure d'Électricité. — L'École supérieure d'Électricité a pour but de donner aux ingénieurs les connaissances pratiques qu'exige l'emploi si étendu de l'électricité dans l'industrie.

L'enseignement comprend des cours généraux, des séries de conférences et des travaux pratiques au laboratoire et à l'atelier (*voir* p. 40).

Les élèves ayant suivi avec assiduité tous les exercices de l'École et satisfait aux examens de sortie reçoivent un diplôme d'ingénieur électricien.

Offres et demandes d'emploi. — Les offres et demandes d'emploi faites par les membres de la Société sont insérées dans le *Bulletin mensuel* lorsqu'elles ont été reçues au Secrétariat avant le 5 du mois.

Remises des Librairies. — Par suite d'une entente spéciale avec un certain nombre de Libraires et Éditeurs, des remises spéciales sont faites aux Membres de la Société sur les livres provenant des Maisons dont le nom est inséré dans l'*Annuaire* (*voir* p. 52).

Insigne. — Pour faciliter la reconnaissance des Membres de la Société, dans le cas de visites collectives ou de réceptions, le Comité a fait établir un insigne en argent (*voir* p. 151).



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

DÉCRET.

Le Président de la République française,
Sur le Rapport du Ministre de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes,
Vu la demande formée par la Société internationale des Électriciens, à l'effet d'être reconnue comme établissement d'utilité publique;

Vu les statuts de cette Société, l'état de sa situation financière et les autres pièces produites à l'appui de sa demande;

Vu l'avis favorable du Comité des Travaux historiques et scientifiques (Section des Sciences);

Vu les avis favorables du Préfet de la Seine et du Vice-Recteur de l'Académie de Paris;

La Section de l'Intérieur, de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes du Conseil d'État entendue,

Décède :

ART. 1^{er}. — La Société internationale des Électriciens est reconnue comme établissement d'utilité publique.

ART. 2. — Les statuts sont approuvés tels qu'ils sont ci-annexés. Aucune modification ne pourra y être apportée sans autorisation du Gouvernement.

ART. 3. — Le Ministre de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 7 décembre 1886.

Signé : JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

*Le Ministre de l'Instruction publique,
des Beaux-Arts et des Cultes,*

Signé : RENÉ GOBLET.

Pour ampliation :

Le chef de bureau au Cabinet,

Signé : ROUJON.

STATUTS.

ART. 1^{er}. — La *Société internationale des Électriciens* a pour but :

1^o De centraliser, pour leur étude et leur discussion, les renseignements et les documents concernant les progrès de l'Électricité;

2^o De favoriser la vulgarisation et le développement de l'Électricité par tous les moyens. A cet effet, elle exerce son action par des réunions, des conférences, des publications, des dons, en instruments ou en argent, aux personnes travaillant à des recherches ou entreprises scientifiques qu'elle aurait provoquées ou approuvées;

3^o D'établir et d'entretenir des relations suivies et de solidarité entre les divers Membres, français ou étrangers, de la Société.

Le siège de la Société est à Paris.

ART. 2. — La Société s'interdit toute ingérence dans une entreprise industrielle ou commerciale quelconque.

ART. 3. — La Société se compose :

De *Membres titulaires*;

De *Membres fondateurs*;

De *Membres honoraires*.

Pour devenir Membre de la Société, il faut :

Adresser au Président une demande écrite appuyée par deux Membres de la Société;

Être élu en séance, à la majorité des voix.

Les Sociétés et Compagnies scientifiques et industrielles peuvent, sur l'avis motivé du Comité, figurer parmi les Membres de la Société internationale des Électriciens. Elles sont alors représentées dans les actes de la Société par un délégué spécial.

Tout Membre ayant fait don à la Société d'une somme d'au moins 500^{fr} reçoit la qualité de Donateur.

Les Membres fondateurs sont ceux qui faisaient partie de la Société avant le 15 octobre 1883, et ceux qui étaient devenus donateurs avant le 15 octobre 1884.

Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction à des personnes ayant rendu à la Science, à l'Industrie ou à la Société en particulier des services éminents.

Les Membres honoraires sont nommés par l'Assemblée générale sur la proposition du Comité.

ART. 4. — Tous les Membres de la Société, sauf les Membres honoraires, payent une cotisation annuelle dont le minimum est fixé à vingt francs.

La cotisation peut être rachetée moyennant le versement d'une somme déterminée.

ART. 5. — La Société est administrée par un Comité formé du Bureau de la Société et de quarante-huit Membres, et élu par l'Assemblée générale.

Le Bureau de la Société se compose de :

Un Président;

Six Vice-Présidents;

Un Secrétaire général;

Six Secrétaires;

Un Trésorier.

Le Président préside les séances de la Société et celles du Comité; il est nommé pour une année et n'est point immédiatement rééligible.

Les Vice-Présidents et les Secrétaires sont nommés pour trois ans et renouvelés chaque année par tiers; les Membres sortants ne sont point immédiatement rééligibles.

Le Secrétaire général organise les séances et dirige les publications de la Société; il mandate les dépenses.

Le Trésorier opère les recettes, paye les dépenses, et a le dépôt des valeurs.

Le Secrétaire général et le Trésorier sont nommés pour deux ans; ils sont tous deux rééligibles.

Le Président et le Secrétaire général doivent être de nationalité française.

Les autres Membres du Comité sont nommés pour trois ans et renouvelés chaque année par tiers; les Membres sortants ne sont pas immédiatement rééligibles.

Les anciens Présidents font de droit partie du Comité.

Des Présidents d'honneur peuvent être créés en Assemblée générale sur la proposition du Comité.

ART. 6. — Le Comité veille à l'exécution des décisions de l'Assemblée générale; il a la gestion des fonds; il autorise et organise les conférences, les réunions techniques, les publications, et provoque, au besoin, la formation de Congrès scientifiques; il convoque les Membres de la Société en Assemblée générale extraordinaire, lorsqu'il le juge nécessaire.

Le Comité se réunit tous les trimestres et peut être convoqué en séance exceptionnelle, soit par le Président, soit sur la demande de dix de ses Membres.

La présence de quinze Membres du Comité est nécessaire pour assurer la validité des délibérations.

ART. 7. — Les délibérations relatives à l'acceptation des dons et legs, aux acquisitions et échanges d'immeubles sont soumises à l'approbation du Gouvernement.

ART. 8. — Les délibérations relatives aux aliénations, constitutions d'hypothèques, baux à longs termes et emprunts, ne sont valables qu'après l'approbation de l'Assemblée générale.

ART. 9. — Le Trésorier représente la Société en justice et dans tous les actes de la vie civile.

ART. 10. — Une Assemblée générale ordinaire des Membres de la Société a lieu, une fois par an, dans les conditions déterminées par le Règlement intérieur.

L'Assemblée générale est présidée par le Président ou l'un des Vice-Présidents.

Son ordre du jour est réglé par le Comité.

Elle entend le Rapport du Comité sur sa gestion; elle approuve les comptes de l'exercice clos, sur le Rapport de trois Membres élus au scrutin, en dehors du Comité, et dans les formes prescrites au Règlement intérieur; elle pourvoit au renouvellement des Membres du Comité.

Tous les Membres de la Société sont appelés à prendre part aux élections, soit par le dépôt direct de leurs votes dans l'Assemblée générale, soit par correspondance.

ART. 11. — Les séances ordinaires de la Société ont lieu sur la convocation du Président.

Des sessions générales des Membres français et étrangers de la Société peuvent être provoquées et organisées par le Comité.

ART. 12. — Le fonds social de la Société internationale des Électriciens se compose :

- 1° Des sommes versées par les donateurs ;
- 2° Des sommes provenant des rachats des cotisations annuelles ;
- 3° Des dons et legs sans destination spéciale.

Les sommes composant le fonds social ne peuvent être employées qu'en immeubles, en rentes nominatives sur l'État français ou en obligations nominatives de chemins de fer français garantis par l'État.

Les fonds disponibles se composent :

- 1° Des intérêts de placement du fonds social, et du revenu des biens et valeurs de toute nature ;
- 2° Des cotisations annuelles ;
- 3° Des dons ou legs faits à la Société pour un objet immédiat et déterminé ;
- 4° Des subventions qui pourraient lui être accordées ;
- 5° Du produit des ressources exceptionnelles provenant des Conférences, des vérifications d'instruments, etc.

Les dons ou legs ne peuvent être acceptés par la Société qu'après autorisation du Gouvernement.

ART. 13. — Les Statuts de la Société ne peuvent être modifiés que par décision d'une Assemblée générale extraordinaire, sur une question motivée, signée par vingt-cinq Membres et préalablement soumise au Comité.

L'Assemblée générale extraordinaire, convoquée à cet effet à un mois de date, devra réunir cent Membres au moins présents ou représentés. Si l'Assemblée ne réunit pas cent Membres, une nouvelle convocation est faite à un mois de date, et le vote est alors valable, quel que soit le nombre des Membres présents ou représentés.

Les décisions sont prises à la majorité des deux tiers des Membres présents ou représentés et sont soumises à l'approbation du Gouvernement.

ART. 14. — La question de dissolution ne pourra être soulevée que par une demande motivée portant la signature de cinquante Membres au moins. Cette demande sera soumise au Comité qui en fera l'objet d'un rapport à une Assemblée générale extraordinaire convoquée spécialement à cet effet.

Les résolutions sont prises à la majorité des deux tiers des Membres présents ou représentés et soumises à l'approbation du Gouvernement.

ART. 15. — En cas de dissolution, l'actif de la Société est attribué, par délibération de l'Assemblée générale, approuvée par le Gouvernement, à un ou plusieurs établissements analogues et reconnus d'utilité publique. Les clauses stipulées par les donateurs, en prévision de ce cas, devront être respectées.

ART. 16. — Un Règlement intérieur, préparé par le Comité, adopté par l'Assemblée générale et dûment approuvé, détermine les conditions de détail propres à assurer l'exécution des présents Statuts.



RÈGLEMENT INTÉRIEUR D'ADMINISTRATION.

I. — Cotisations.

1. La cotisation annuelle est de 20 francs (art. 4 des Statuts).
2. Elle est due par tous les Membres, sauf les Membres honoraires.
3. Le paiement de la première cotisation doit être effectué par chaque Membre nouveau, immédiatement après son admission. La cotisation de l'année en cours est due, quelle que soit la date de l'admission.
4. Le paiement des cotisations suivantes devra être effectué du 1^{er} janvier au 30 juin.
5. Les quittances seront détachées d'un registre à souche et signées du trésorier.
6. En cas de non-paiement d'une cotisation échue et réclamée, l'envoi des publications est suspendu.
7. Tout Membre en retard de deux années pour le paiement de ses cotisations sera, après un dernier avertissement, considéré comme ne faisant plus partie de la Société.
8. Toute démission donnée ne sera valable qu'après acquittement des cotisations dues; sinon la radiation sera prononcée.
9. Les membres peuvent se libérer de toute cotisation moyennant le paiement d'une somme de 250 francs, effectué soit en un versement, soit en deux de 125 francs chacun et à un intervalle de moins de douze mois.

II. — Elections.

10. Les élections pour le renouvellement du Bureau et du Comité ont lieu tous les ans, lors de la réunion de l'Assemblée générale ordinaire.
11. Tous les Membres de la Société sont appelés à prendre part aux élections, soit par le dépôt direct de leur vote, soit par correspondance.
12. Les votes par correspondance devront être parvenus au siège de la Société la veille, au plus tard, de la réunion de l'Assemblée générale ordinaire. Le bulletin de vote devra être fermé et accompagné d'une lettre d'envoi signée de l'expéditeur et adressée au Président de la Société.
13. Les bulletins détachés des lettres d'envoi seront joints aux bulletins déposés directement par les Membres présents à l'Assemblée générale. Le dépouillement aura lieu séance tenante, sous la surveillance de deux Membres du Bureau. Le résultat sera proclamé immédiatement.
14. Le Comité se réunit en temps utile pour discuter les titres des candidats et fait connaître les noms qu'il propose au choix de la Société dans la réunion mensuelle qui précède l'Assemblée générale.

15. Le Président, le Secrétaire général et le Trésorier ne peuvent être pris que parmi les Membres nationaux ayant leur résidence à Paris.

III. — Assemblées générales.

16. L'Assemblée générale ordinaire a lieu tous les ans, au mois de mars ou d'avril.

17. L'Assemblée générale procède à l'élection des Membres du Bureau, du Comité et de la Commission des comptes. Le Président est nommé une année à l'avance ; il prend part aux travaux du Bureau en fonction.

Elle entend le Rapport fait, au nom du Comité, sur la gestion de l'année ;

Elle entend le Rapport de la Commission des comptes et approuve les comptes de l'année ;

Elle vote sur les questions d'intérêt général ou de règlement intérieur portées à son ordre du jour.

18. Les décisions sont prises à la majorité relative ; en cas de partage des voix, la voix du Président est prépondérante.

19. L'ordre du jour de l'Assemblée générale est arrêté par le Comité. Aucune question en dehors de cet ordre du jour ne peut être introduite devant l'Assemblée générale.

20. Les membres de la Société qui désireraient faire porter une proposition à l'ordre du jour de l'Assemblée générale doivent en envoyer le texte, avant le 1^{er} mars, au Président, qui en donne communication au Comité.

21. Les Rapports du Comité d'administration, de la Commission des comptes, ainsi que l'ordre du jour de l'Assemblée générale arrêté par le Comité, sont déposés au secrétariat dix jours au moins avant la réunion de l'Assemblée générale, à la disposition de tous les Membres qui désireraient en prendre connaissance.

22. Une Assemblée générale extraordinaire peut être convoquée par le Comité toutes les fois qu'il le juge nécessaire.

L'Assemblée générale extraordinaire est convoquée dans la même forme et délibère sous les mêmes conditions que l'Assemblée générale ordinaire, conditions réglées par les articles 10 et 13 des Statuts et l'article 19 du présent Règlement.

IV. — Comité.

23. Les attributions du Comité sont réglées par l'article 6 des Statuts.

24. Les procès-verbaux des séances du Comité sont transcrits sur un registre spécial folioté. Après son adoption, chaque procès-verbal est revêtu de la signature du Président et du Secrétaire-rédacteur.

25. L'ordre du jour des séances du Comité est indiqué dans les lettres de convocation.

V. — Bureau.

26. Le Président préside toutes les réunions de la Société et du Comité.

Il est Président de droit de toutes les Commissions.

27. Le Secrétaire général organise les séances de la Société, prépare les travaux du Comité, dirige les publications. Les dépenses sont mandatées par lui. Il a sous ses ordres, par délégation du Président, les agents rétribués de la Société.

28. Le Trésorier est l'agent délégué du Comité d'administration pour la gestion financière.

Il effectue les recettes et dépenses, les mouvements de fonds, achats et ventes de titres et représente la Société en justice et dans tous les actes de la vie civile, le tout en se conformant aux décisions prises par le Comité.

Lorsqu'il est, pour une cause quelconque, empêché de remplir ses fonctions, le Comité désigne un Trésorier suppléant qui est chargé du service jusqu'à la réunion de l'Assemblée ordinaire.

29. Le Comité nomme un secrétaire pris hors de son sein et appointé.

Le secrétaire du Comité rédige les procès-verbaux de l'Assemblée générale, des réunions mensuelles du Comité et des Commissions et veille à la transcription, sur les registres spéciaux, des procès-verbaux approuvés.

Il a la garde des archives et de la bibliothèque.

Il surveille les impressions, l'envoi des convocations, la distribution des bulletins.

Il prête son concours au Trésorier pour la perception des cotisations et le paiement des factures, des loyers et des traitements.

VI. — Réunions ordinaires.

30. Les réunions ordinaires ont lieu le premier mercredi de chaque mois, les mois d'août, de septembre et d'octobre exceptés.

Elles sont principalement consacrées aux Communications relatives à l'Électricité, présentées soit par des Membres de la Société, soit par des personnes étrangères autorisées.

L'ordre du jour de la séance est réglé par le Bureau.

31. Il y est voté à mains levées sur l'admission des Membres nouveaux.

32. Le Président y rend compte des travaux et des décisions du Comité, et, en général, de toutes les questions pouvant intéresser la Société.

33. Tout Membre désirant faire une proposition doit en remettre le texte par écrit au Président, autant que possible avant la séance.

Si, de l'avis du Bureau, la motion est de nature à engager la responsabilité morale ou financière de la Société, elle est renvoyée de droit au Comité sans qu'elle puisse donner lieu à une discussion dans la réunion.

VII. — Bulletin.

34. Un Bulletin, mensuel, rend compte des travaux de la Société et donne un résumé des Communications faites en séance.

Le Bureau prononce sur l'admission de ces résumés et sur l'étendue qui peut leur être accordée.

35. Le Bulletin est envoyé gratuitement à tous les Membres.

36. Des abonnements peuvent être consentis à un prix fixé par le Comité.

37. Les échanges de publications doivent être autorisés par le Comité.

VIII. — Laboratoire central d'Électricité.

38. Le Laboratoire central d'Électricité a pour objet de :

- 1° Réunir et conserver une série d'étalons de toutes les grandeurs électriques;
- 2° Former une bibliothèque aussi complète que possible des ouvrages français et étrangers traitant d'Électricité;
- 3° Étalonner des appareils de mesure appartenant à des tiers;

4° Déterminer les constantes d'appareils électriques industriels : piles, accumulateurs, dynamos, lampes, etc.;

5° Étudier des appareils nouveaux ou des méthodes nouvelles ayant trait à l'Électricité;

6° Faciliter des études et des recherches personnelles sur le même sujet.

39. Le Laboratoire est administré, conformément aux traités passés avec l'État et la Ville de Paris, par une Commission composée du Bureau, des anciens présidents de la Société, du président du Syndicat des industries électriques et d'un Délégué du Conseil municipal de la Ville de Paris. Cette Commission se réunit périodiquement au Laboratoire et au moins quatre fois par an.

40. Un électricien est chargé de la direction du Laboratoire; il lui est adjoint le personnel reconnu nécessaire. Le Directeur assiste, avec voix consultative, aux séances de la Commission administrative.

41. Les travaux effectués au Laboratoire pour des tiers donnent lieu à des redevances déterminées.

Le tarif des redevances est arrêté par la Commission.

Les taxes perçues et tous les produits des opérations du Laboratoire restent acquis à la Société internationale des Électriciens, pour être consacrés à l'entretien, au développement et à l'amélioration du Laboratoire.

42. Le Directeur soumet à l'approbation de la Commission les projets d'études ou d'expériences à entreprendre en dehors des travaux visés à l'article précédent.

43. Le Laboratoire est ouvert, après autorisation de la Commission, aux personnes qui désirent effectuer elles-mêmes des recherches concernant l'Électricité ou le Magnétisme. En cas d'admission au Laboratoire, l'intéressé versera mensuellement une redevance fixe, et il remboursera à la Société tous les frais entraînés par ses recherches.

44. Des élèves sont admis au Laboratoire pour un temps déterminé, en vue de s'exercer au maniement des appareils électriques.

Le nombre des élèves, les conditions de leur admission et la durée de leur séjour seront fixés par la Commission.

45. La bibliothèque est confiée au Directeur du Laboratoire. Les livres doivent être consultés sur place et ne peuvent en aucun cas sortir du Laboratoire.

46. Les ressources du Laboratoire se composent :

1° De la rente provenant du reliquat de l'Exposition internationale d'Électricité de 1881;

2° Des dons qui sont faits à la Société avec affectation spéciale au Laboratoire;

3° Des recettes qu'il effectue;

4° Du crédit ouvert chaque année par la Société.

47. La Commission présente chaque année au Comité d'administration de la Société un compte rendu des travaux et des finances du Laboratoire avec un inventaire du matériel.

48. Toutes les conditions d'ordre intérieur du Laboratoire, arrêtées par la Commission, seront publiées au *Bulletin* de la Société, affichées au siège social et au Laboratoire, et communiquées à toutes les personnes qui en feront la demande.

LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

Emplacement du Laboratoire.

Par une délibération en date du 5 mai 1890, le Conseil municipal de Paris concédait, à la Société internationale des Électriciens, un terrain de 2715^m² situé rue Lhomond. Le 13 avril 1892, une nouvelle délibération autorisait l'échange du terrain ci-dessus contre un autre terrain, situé rue de Staël et ayant une surface de 1500^m² environ.

La cession de ce terrain fut réalisée par un arrêté préfectoral du 14 mars 1894, aux conditions suivantes : la durée de la concession est de 60 années, du 4 juin 1892 au 3 juin 1952. La redevance annuelle à payer par la Société est de 1^{re} par an; de plus, une somme de 5000^{fr}, divisée en cinq annuités de 1000^{fr}, devait être payée depuis 1897 jusqu'à 1901. La Société s'engageait à maintenir le Laboratoire sur ce terrain et, à l'expiration des 60 années, les constructions, le terrain et les accroissements immobiliers feraient retour à la Ville de Paris.

Les essais et étalonnements demandés par la Ville de Paris, pour son service, doivent être faits gratuitement par le Laboratoire.

Deux bourses d'élèves au Laboratoire sont réservées aux personnes désignées par la Ville.

Un délégué du Conseil municipal fait partie du Comité de direction du Laboratoire.

La Société s'engage à entretenir les bâtiments en bon état et à les faire reconstruire s'il y a lieu.

Des agrandissements étant devenus nécessaires, le Conseil municipal accordait, par délibérations du 13 décembre 1901 et du 26 mars 1902, le terrain contigu à celui déjà occupé par le Laboratoire et rendu libre par le départ des ambulances municipales.

Cette nouvelle concession, réalisée par arrêté du 14 janvier 1904, a une durée de 60 années, du 7 novembre 1903 au 7 novembre 1963; elle proroge les concessions antérieures, de sorte que tous les terrains occupés par la Société feront retour en même temps à la Ville (¹).

(¹) Les textes des divers arrêtés relatifs à ces concessions se trouvent dans le *Bulletin* des années correspondantes, et ils ont été reproduits dans les *Annuaire*s de la Société jusqu'en 1906.

I. — DÉCRETS, CONVENTION ET ACTES DIVERS
RELATIFS AU LABORATOIRE CENTRAL D'ÉLECTRICITÉ.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

—

DÉCRET.

Le Président de la République Française,
Sur le Rapport du Ministre des Postes et des Télégraphes,

DÉCRÈTE :

ART. 1^{er}. — Il est institué à Paris, sous la haute direction du Ministre des Postes et des Télégraphes, un laboratoire central d'électricité.

ART. 2. — La somme de 325000^{fr}, dès à présent disponible, sur les bénéfices de l'Exposition Internationale d'Électricité, est consacrée à l'organisation de ce laboratoire.

ART. 3. — Un arrêté ministériel réglera l'organisation et les conditions du fonctionnement du laboratoire.

ART. 4. — Le Ministre des Postes et des Télégraphes est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Paris, le 24 février 1882.

JULES GRÉVY.

Par le Président de la République :

Le Ministre des Postes et des Télégraphes,

AD. COCHERY.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

—

DÉCRET.

Le Président de la République,

Vu le Décret du 24 février 1882, instituant à Paris un Laboratoire central d'Électricité sous la haute direction du Ministre des Postes et des Télégraphes;

Vu les Décrets des 12 juillet et 17 août 1886 réglant l'emploi des fonds affectés à l'installation et à l'entretien de cet établissement;

Vu la Convention conclue pour l'organisation et l'entretien dudit Laboratoire avec la Société internationale des Électriciens reconnue d'utilité publique par le Décret du 7 décembre 1886;

Vu la lettre en date du 13 février 1891 par laquelle le Ministre des Finances adhère à cette Convention ;

Sur la proposition du Ministre du Commerce et de l'Industrie,

DÉCRÈTE :

ART. 1^{er}. — Est approuvée la Convention susvisée dont un exemplaire restera annexé au présent Décret et qui fixe les conditions d'organisation et d'entretien du Laboratoire central d'Électricité institué à Paris par Décret du 23 février 1882.

ART. 2. — Les arrérages de la rente de 10933^{fr}, inscrite au bénéfice du Laboratoire central d'Électricité, en vertu du Décret du 17 août 1886, seront versés directement par la Caisse des Dépôts et Consignations à titre de subvention, par trimestre échu, à la Société internationale des Électriciens, après déduction des prélèvements à opérer par application de l'article 8 de la Convention et sur le vu d'un certificat du Directeur général des Postes et des Télégraphes, ou de son représentant, constatant que ladite Société a rempli ses engagements en ce qui concerne le fonctionnement et l'entretien du Laboratoire.

ART. 3. — Dans le cas où la Société internationale des Électriciens ferait agréer un nouvel emplacement propre à l'installation du Laboratoire et dont la jouissance lui serait garantie pour une durée suffisante, le Ministre du Commerce et de l'Industrie pourrait, de concert avec le Ministre des Finances, autoriser l'aliénation d'une partie de la rente mentionnée à l'article précédent, jusqu'à concurrence d'un capital de 100000^{fr} au plus et faire verser ce capital à la Société, soit en totalité, soit par fractions, au fur et à mesure des besoins, pour être employé à la réinstallation du Laboratoire. La subvention annuelle de 10933^{fr} serait alors réduite d'une somme équivalente au montant de la rente aliénée.

ART. 4. — L'inventaire du matériel et des instruments laissés à la disposition de la Société, en vertu de l'article 6 de la Convention, sera soumis chaque année à l'examen de la Commission chargée de la vérification des comptes des Ministères.

ART. 5. — Le Ministre du Commerce et de l'Industrie est chargé de l'exécution du présent Décret.

Fait à Paris, le 15 mars 1892.

CARNOT.

Par le Président de la République :

Le Ministre du Commerce et de l'Industrie,

JULES ROCHE.

CONVENTION.

Entre le Directeur général des Postes et des Télégraphes, agissant au nom de l'État, sous réserve de l'approbation du Ministre du Commerce, de l'Industrie et des Colonies, d'une part ;

Et le Président de la Société internationale des Électriciens, agissant au nom de cette Société, reconnue d'utilité publique par Décret du 7 décembre 1886, sous réserve de l'approbation du Comité d'Administration, d'autre part ;

Il a été convenu ce qui suit :

ARTICLE 1^{er}.

L'État accepte l'offre faite par la Société internationale des Électriciens d'organiser et d'entretenir le Laboratoire central d'Électricité qui a été institué à Paris, sous la haute direction du Ministre chargé du Service des Postes et des Télégraphes, par décret du 24 février 1882.

La Société se conformera pour l'organisation et l'entretien de cet établissement aux dispositions ci-après :

ARTICLE 2.

Règlement et tarifs. — Le règlement du Laboratoire et toutes les modifications qui y seraient apportées seront soumis avant exécution à l'approbation du Ministre.

Le tarif applicable aux services rendus au public ou aux essais faits pour le compte des industriels est le même pour tous sans distinction ni préférence. Toutefois des réductions peuvent être consenties en faveur des divers services publics ou municipaux et des établissements ou institutions scientifiques, reconnus d'utilité publique.

Le mode de contrôle des opérations du Laboratoire est fixé par arrêté ministériel, le Comité d'Administration de la Société entendu.

ARTICLE 3.

Local et installation. — Le local affecté à l'établissement du Laboratoire est, par les soins et aux frais de la Société internationale des Électriciens, fourni ou loué, aménagé et pourvu de tous instruments nécessaires pour le fonctionnement du service.

En cas de déplacement du Laboratoire, le nouveau local choisi par la Société doit être agréé par le Ministre.

ARTICLE 4.

Désignation du chef du Laboratoire. — Le chef du Laboratoire est choisi par le Ministre pour une période de cinq ans, après entente avec la S.

Société internationale des Électriciens. Il doit être de nationalité française.

ARTICLE 5.

Subvention. — L'État concède à la Société, à titre de subvention et pour être exclusivement affectés au fonctionnement et à l'entretien du Laboratoire central d'Électricité, les arrérages, montant annuellement à dix mille neuf cent trente-trois francs, de l'inscription de rente 3 pour 100 acquise le 30 septembre 1886, en vertu du décret du 17 août précédent, avec le reliquat du capital provenant de l'Exposition internationale d'Électricité de 1881 et cédé par la Société de garantie.

Cette subvention sera versée directement par la Caisse des Dépôts et Consignations, par trimestre échu, à la Société internationale des Électriciens, sur le vu d'un certificat du Directeur général ou de son représentant, constatant qu'elle a rempli ses engagements concernant le fonctionnement et l'entretien du Laboratoire.

ARTICLE 6.

Cession d'instruments. — La Société conserve, pour le service du Laboratoire, l'usage des objets de toute nature (mobilier, instruments, etc.), dont dispose déjà cet établissement, soit qu'ils lui aient été confiés par l'Administration à titre de prêt, soit qu'ils aient été achetés avec la somme de trente mille francs que le décret du 12 juillet 1886 a autorisé à prélever sur les bénéfices de l'Exposition de 1881, ou avec les crédits inscrits au budget de la Direction générale des Postes et des Télégraphes.

Un inventaire de ces objets sera régulièrement établi par le chef du Laboratoire, de concert avec un agent de l'Administration des Postes et des Télégraphes. Il sera révisé annuellement et soumis chaque année à l'examen de la Commission chargée de la vérification des comptes des Ministres.

ARTICLE 7.

Produits du Laboratoire. — Les taxes perçues et tous les produits des opérations du Laboratoire restent acquis à la Société internationale des Électriciens, pour être consacrés à l'entretien, au développement et à l'amélioration de l'Établissement.

ARTICLE 8.

Payement des dépenses. — En échange des avantages que lui assurent les articles précédents, la Société internationale des Électriciens s'engage à pourvoir directement à toutes les dépenses (administration, personnel et entretien) du Laboratoire.

Dans le cas où le chef du Laboratoire serait un agent de l'Administration, son traitement serait prélevé, jusqu'à concurrence de quatre mille francs au plus, sur la subvention mentionnée à l'article 5.

ARTICLE 9.

Budget et dispositions particulières. — Le budget du Laboratoire est soumis chaque année au Directeur général des Postes et des Télégraphes avant l'ouverture de l'exercice financier.

Un compte rendu des recettes et des dépenses et un relevé statistique des opérations du Laboratoire sont présentés au mois d'avril de chaque année pour l'année précédente.

Les publications ou rapports imprimés concernant le Laboratoire sont remis gratuitement en deux exemplaires à la Direction générale des Postes et des Télégraphes.

Le Directeur général a la faculté, à toute époque, lorsqu'il le juge convenable, de détacher au Laboratoire, pour compléter leur instruction ou faire des essais, des ingénieurs ou des élèves de ce service qui peuvent suivre les opérations du Laboratoire ou y prendre part sans avoir à payer aucune rétribution.

ARTICLE 10.

Déplacement éventuel du Laboratoire. — Dans le cas où la Société internationale des Électriciens obtiendrait de la Ville de Paris ou de tout autre la concession, pour une durée suffisante, d'un terrain ou d'un local propre à l'établissement du Laboratoire central d'Électricité et agréé par le Ministre, une partie de la rente sur l'État mentionnée à l'art. 5 pourrait être, avec l'autorisation du Ministre, aliénée jusqu'à concurrence d'un capital de cent mille francs, et ce capital pourrait être employé, soit en totalité, soit par fractions et successivement, au fur et à mesure des besoins, avec l'autorisation du Ministre, à la réinstallation du Laboratoire et au paiement des constructions à élever ou des travaux d'appropriation à exécuter sur le terrain ou dans le local cédé. La subvention annuelle serait alors réduite d'une somme équivalente au montant de la rente aliénée.

ARTICLE 11.

Cas de résiliation. — Si la Société internationale des Électriciens venait à se dissoudre ou si elle renonçait à la présente Convention, ou encore si elle cessait d'en remplir les conditions, elle serait tenue de rembourser à l'État les sommes qu'elle aurait été autorisée, par application de l'art. 10, à prélever en capital sur le produit net de l'Exposition, déduction faite de 5 pour 100 pour chacune des années écoulées à dater du paiement effectif des différentes parties du capital.

Dans les cas prévus au précédent paragraphe, la présente Convention serait résiliée de plein droit, la subvention cesserait d'être payée et l'État reprendrait le matériel et les instruments dont il a été question à l'art. 6 et tous ceux qui auraient été achetés postérieurement avec ses propres ressources.

ARTICLE 12.

La présente Convention ne sera valable et définitive que lorsqu'elle aura été approuvée par décret du Président de la République.

Fait double à Paris, le 18 novembre 1891.

*Le Directeur général
des Postes et des Télégraphes,*

J. DE SELVES.

*Le Président de la Société internationale
des Électriciens,*

J. JOUBERT.

Approuvé :

Paris, le 15 mars 1892.

Le Ministre du Commerce et de l'Industrie,

J. ROCHE.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE.

DÉCRET.

Le Président de la République Française,

Vu la Convention passée le 18 novembre 1891 avec la Société internationale des Électriciens pour l'organisation et l'entretien, à Paris, d'un Laboratoire central d'Électricité;

Vu le Décret du 15 mars 1892 approuvant ladite convention;

Vu la Loi de Finances du 31 décembre 1907 (Article 33), appliquant aux produits des legs et donations attribués à l'État ou aux Administrations qui en dépendent, les stipulations de l'article 13 de la loi du 13 juin 1843 et de l'article 52 du décret du 31 mai 1862;

Vu l'avenant à la Convention du 18 novembre 1891 passé avec la Société internationale des Électriciens le 13 décembre 1908;

Sur la proposition du Ministre des Travaux Publics, des Postes et des Télégraphes,

DÉCRÈTE :

ART. 1^{er}. — L'article 2 du Décret du 15 mars 1892 susvisé est modifié ainsi qu'il suit :

« Les arrérages, montant annuellement à sept mille neuf cent trois francs, de l'inscription de rente 3 pour 100, inscrite au bénéfice du Laboratoire central d'Électricité, en vertu du Décret du 17 août 1886 et qui a été aliénée jusqu'à concurrence d'un capital de 100000^{fr}, suivant autorisation résultant d'une décision ministérielle du 8 mars 1892 et par application de l'article 3 du Décret du 15 mars 1892, seront rattachés par Décrets au budget du Ministère des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes,

ordonnés par ce Ministère au profit de la Société internationale des Électriciens, lorsqu'elle en fera la demande, et versés entre ses mains par la Caisse centrale du Trésor.

ART. 2. — Est approuvé l'avenant passé avec la Société internationale des Électriciens le 13 décembre 1908, modifiant, conformément aux dispositions qui précèdent, l'article 5 et supprimant l'article 10 de la Convention conclue avec ladite Société le 18 novembre 1891.

ART. 3. — L'article 3 du Décret du 15 mars 1892 est supprimé.

Fait à Paris, le 14 janvier 1909.

A. FALLIÈRES.

Par le Président de la République :

*Le Ministre des Travaux publics,
des Postes et des Télégraphes.*

LOUIS BARTHOU.

CONVENTION.

Entre le Sous-Secrétaire d'État des Postes et des Télégraphes, agissant au nom de l'État, sous réserve de l'approbation du Ministre des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes, d'une part;

Et le Président de la Société internationale des Électriciens, agissant au nom de cette Société, reconnue d'utilité publique par Décret du 7 décembre 1886, sous réserve de l'approbation du Conseil d'Administration, d'autre part;

Il a été convenu ce qui suit :

1^o L'article 5 de la Convention passée entre l'État et la Société internationale des Électriciens, le 18 novembre 1891, est modifié ainsi qu'il suit :

ARTICLE 5.

» *Subvention.* — L'État concède à la Société, à titre de subvention et pour être exclusivement affectés au fonctionnement et à l'entretien du Laboratoire central d'Électricité, les arrérages, montant annuellement à *sept mille neuf cent trois francs*, de l'inscription de rente 3 pour 100, acquise le 30 septembre 1886, en vertu du Décret du 17 août précédent et qui a été aliénée jusqu'à concurrence d'un capital de 100000^r, suivant autorisation résultant d'une décision ministérielle du 8 mars 1893, par application de l'ancien article 10 de la présente Convention.

» Le montant de ces arrérages, rattaché par Décrets au budget du Ministère des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes, en vertu de l'article 33 de la Loi des Finances du 31 décembre 1907, sera ordonné

par cette Administration au profit de la Société internationale des Électriciens lorsqu'elle en fera la demande et versé entre ses mains par la Caisse centrale du Trésor. »

2° L'article 10 de ladite Convention est supprimé.

Fait double à Paris, le 13 décembre 1908.

<i>Le Sous-Secrétaire d'État,</i>	<i>Le Président de la Société internationale des Électriciens,</i>
SYMIAN.	P. BOUCHEROT.

Approuvé :

Paris, le 9 janvier 1909.

Le Ministre des Travaux publics, des Postes et des Télégraphes,
LOUIS BARTHOU

II. — RÈGLEMENT DE CONTRÔLE.

Arrêté ministériel du 12 mai 1893.

ARTICLE 1^{er}.

Le contrôle des opérations du Laboratoire est effectué par les fonctionnaires désignés par le Directeur général des Postes et des Télégraphes. Il s'exerce sur place et au siège de la Société internationale des Électriciens, sur le vu des registres et pièces de recettes et de dépenses.

ARTICLE 2.

Les livres-journaux et les relevés mensuels sont arrêtés par semestre. Il en est fait un extrait qui est remis à l'Administration des Postes et des Télégraphes ou à son délégué.

ARTICLE 3.

Les délégués de l'Administration ont pour mission de donner leur avis sur le budget et les projets soumis à l'approbation du Ministre et du Directeur général des Postes et des Télégraphes, de veiller à la stricte application des tarifs et des décisions concernant les dépenses, de s'assurer que tous les produits du Laboratoire sont affectés à l'entretien et à l'amélioration des services de l'établissement, et que toutes les prescriptions de la Convention conclue entre le Ministre du Commerce et de l'Industrie et la Société internationale des Électriciens et du Règlement intérieur du Laboratoire sont observées.

En cas d'infraction, ils en rendent compte au Directeur général des Postes et des Télégraphes.

Ils peuvent en tous temps vérifier la régularité des recettes et des dépenses, et

pénétrer dans le Laboratoire, pour examiner la nature des travaux exécutés ou en cours d'exécution.

Ils peuvent provoquer, dans le Règlement intérieur et dans la comptabilité, les modifications et additions qu'ils auraient reconnues nécessaires.

Ces fonctionnaires ne communiquent qu'avec la Commission administrative ou le Directeur et n'ont aucune autorité sur le personnel du Laboratoire.

Ils adressent leurs Rapports au Directeur général des Postes et des Télégraphes et établissent trimestriellement les certificats exigés pour les paiements de la subvention de l'État.

III. — RÈGLEMENT INTÉRIEUR.

Administration.

ART. 1^{er}. — Le Laboratoire central d'électricité est administré par une Commission composée du Bureau de la Société internationale des Électriciens, des anciens présidents de cette Société, du Président du Syndicat des industries électriques et d'un délégué du Conseil municipal de la Ville de Paris.

La Commission administrative nomme chaque année, à la première séance annuelle, un Président pris dans son sein et un Secrétaire pris parmi les Membres de la Société.

Ses séances sont présidées par le Président de la Société, lorsqu'il est présent.

La Commission est convoquée par son Président qui dresse l'ordre du jour et agit, soit de sa propre initiative, soit sur l'invitation du Président de la Société.

Les procès-verbaux des séances sont copiés sur un registre et signés par le Président et le Secrétaire.

Direction.

ART. 2. — Le Directeur a sous ses ordres tout le personnel attaché au Laboratoire. Il exécute sous sa responsabilité toutes les décisions prises par la Commission administrative.

Il présente, à chaque réunion de la Commission, un rapport sur les travaux effectués depuis la séance précédente et sur l'état des expériences, essais et recherches en cours d'exécution.

Chaque année, dans le courant de novembre, il soumet à la Commission le résultat des opérations de l'exercice en cours et un projet de budget pour l'exercice suivant.

Personnel.

ART. 3. — Les chefs de travaux, préparateurs et agents, sont nommés par la Commission sur la proposition du Directeur.

La Commission fixe les indemnités ou traitements alloués à chacun d'eux et détermine leurs attributions.

Comptabilité.

ART. 4. — La comptabilité est tenue au Siège social, sur les pièces de journal et de caisse fournies par le Directeur.

Les livres employés doivent permettre de se rendre facilement compte si toutes les sommes affectées au service du Laboratoire reçoivent bien leurs destinations.

Le Directeur ne peut engager aucune dépense supérieure à 200^{fr} sans l'autorisation de la Commission.

Le paiement des dépenses du Laboratoire est fait à la Caisse de la Société sur le vu d'un mémoire certifié par le fournisseur, visé par le Directeur et signé par le Président de la Commission. Les menues dépenses sont payées par le Directeur et réglées tous les mois à la Caisse de la Société.

Les recettes de toutes natures du Laboratoire sont versées à la Caisse de la Société tous les mois, dans les cinq premiers jours et, dans tous les cas, dès que le total des sommes perçues atteint 1000^{fr}. Le versement est appuyé d'un relevé de recettes, jour par jour.

Ouverture et fermeture du Laboratoire.

ART. 5. — Le Laboratoire est ouvert tous les jours de 9^h du matin à 6^h du soir.
Il est fermé les dimanches et jours fériés.

Bibliothèque.

ART. 6. — Les Ouvrages composant la bibliothèque du Laboratoire peuvent être consultés, sur place, par les Membres de la Société internationale des Électriciens et par les personnes ayant reçu une autorisation spéciale du Président de la Commission administrative.

Ces Ouvrages, placés sous la haute surveillance du Directeur, ne pourront, en aucun cas, sortir du Laboratoire.

Redevances.

ART. 7. — Les travaux effectués au Laboratoire pour le compte des tiers, ou par des tiers, donnent lieu à des redevances déterminées.

Le tarif de ces redevances sera arrêté par la Commission, affiché à l'entrée du Laboratoire et publié dans le Bulletin de la Société.

Le montant des taxes, applicable à chaque travail, est exigible d'avance.

Travaux effectués pour le compte des tiers.

ART. 8. — Dès qu'un appareil ou un objet à expérimenter ou à étalonner est apporté au Laboratoire, il est inscrit sur un registre avec numéro d'ordre.

L'essai est fait dans le délai le plus court possible; ses résultats sont attestés par un certificat portant le timbre à dates du Laboratoire et signé par le Directeur. Il est conservé une copie du certificat sur un registre spécial.

Dans le cas où un travail spécial non prévu au tarif serait demandé, le Directeur ferait savoir à l'intéressé si le travail est possible et ce qu'il coûterait approximativement. Le dit travail serait alors effectué *après versement de la somme indiquée* et le règlement définitif n'aurait lieu qu'après exécution.

Aucune communication verbale ou écrite des résultats d'un essai ou d'une expérience ne peut être faite à d'autres personnes que l'intéressé, à moins d'autorisation écrite de sa part.

En aucun cas, le Laboratoire n'est responsable des accidents qui pourraient survenir, dans le cours des expériences, aux appareils qui lui ont été confiés.

Travaux effectués par des tiers.

ART. 9. — Pour être admis à effectuer des travaux au Laboratoire il faut en adresser la demande au Directeur, avec une note détaillée sur le résultat cherché, les moyens à employer pour l'obtenir, les appareils nécessaires et la durée probable de ces travaux.

Le Directeur transmet la demande au Président de la Commission qui statue, sans avoir à motiver sa décision.

Si les travaux sont autorisés, le Président fixe la durée maximum du séjour du titulaire de la demande au Laboratoire et la redevance qu'il doit payer.

Le titulaire doit s'engager à rembourser tous les frais que nécessiteront ses expériences et *il peut être tenu de verser, à titre de garantie, une provision déterminée.*

A l'expiration du délai qui lui aura été fixé, si le titulaire demande une prolongation, il doit justifier des résultats obtenus et de l'utilité de continuer ses recherches. Le Président de la Commission, sur un rapport du Directeur, statue sur cette nouvelle demande.

Si les recherches faites par les tiers nécessitaient l'acquisition ou l'appropriation de certains outils ou appareils, la Commission peut autoriser le Directeur à payer une partie des frais, à la condition que le matériel acquis reste la propriété du Laboratoire.

Conférences et recherches.

ART. 10. — La Commission administrative peut autoriser ou provoquer des conférences, des expériences ou des recherches au Laboratoire, sur certaines questions intéressant l'électricité.

Dans ce cas, le Directeur prépare le devis des dépenses à prévoir et les conférences ou expériences ou recherches ne sont faites qu'après ouverture de crédit par la Commission.

Élèves.

ART. 11. — Le nombre des élèves à admettre au Laboratoire est fixé par la Commission administrative.

Les candidats doivent adresser une demande au Directeur, en indiquant leur nationalité, en énumérant les titres et diplômes qu'ils possèdent. Leur admission est prononcée par le Président de la Commission, sur l'avis du Directeur.

Les élèves admis doivent payer une redevance mensuelle de 40^{fr} payable d'avance.

La Commission du Laboratoire se réserve la faculté d'accorder dans certains cas motivés une réduction de moitié sur la redevance annuelle des élèves.

Leur présence au Laboratoire doit être d'au moins six heures par jour. Ils doivent se soumettre aux ordres du Directeur, ou, en son absence, à ceux des chefs de travaux qui le remplacent.

Ils sont responsables du matériel qui leur est confié.

Les absences non autorisées ou non justifiées et les infractions au règlement donneraient lieu à un premier avertissement.

Pour inexactitude répétée ou pour faute grave, le Directeur peut interdire provisoirement

rement l'entrée du Laboratoire à un élève, sauf à en référer au Président de la Commission qui aurait à se prononcer sur l'exclusion définitive.

Les élèves qui, pendant un séjour d'un an au moins, auront fait preuve d'assiduité et de connaissances pratiques suffisantes dans le maniement des appareils de mesure recevront un diplôme signé par le Président de la Commission administrative et le Directeur du Laboratoire.

IV. — COMMISSION ADMINISTRATIVE.

Président.

BOUTY (E.), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

Secrétaire.

SARTIAUX (Eug.), Ingénieur Chef des Services électriques aux *Chemins de fer du Nord*.

Membres.

Les Membres du Bureau de la *Société internationale des Électriciens*.

Les anciens Présidents de la *Société internationale des Électriciens*.

MEYER-MAY, Président du *Syndicat professionnel des Industries électriques*.

Dr GUIBERT, Délégué du Conseil municipal de la Ville de Paris.

V. — PERSONNEL.

Directeur du Laboratoire.

1903-1910. JANET (PAUL), Professeur à l'Université de Paris.

Chef de Travaux faisant fonction de Sous-Directeur.

LAPORTE (FRÉDÉRIC), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines.

Chefs des Travaux.

DURAND (ALBERT), Licencié ès Sciences physiques, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité.

DAVID (CHARLES), Ingénieur civil, Diplômé de l'Institut industriel du Nord de la France.

JOUAUST (Raymond), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité.

TARIF DES ESSAIS ET ÉTALONNEMENTS ⁽¹⁾.

Le Laboratoire central d'Electricité se charge de l'étude de tous les appareils électriques, des épreuves de réception de machines et de la vérification d'installations aux conditions suivantes :

I. — Essais donnant lieu à un certificat

PREMIÈRE CATÉGORIE. — *Étalonnements d'appareils industriels de mesure.*

Ampèremètres.	Courant continu	de 0 à 100 ampères.....	5
		de 100 à 500 —	10
		de 500 à 1000 —	20
		de 1000 à 2000 —	30
	Courants alternatifs	de 0 à 100 ampères (42 5).....	10
		de 100 à 500 — —	15
		de 500 à 1000 — —	25
		de 1000 à 2000 — —	35
Pour les étalonnements à des fréquences différentes de 42 les prix précédents seront majorés de cinq francs.			
Voltmètres ou électromètres.	Courant continu	de 0 à 150 volts.....	5
		de 150 à 600 —	10
		de 600 à 1000 —	20
	Courants alternatifs	de 0 à 150 volts.....	10
		de 150 à 500 —	15
		de 500 à 1000 —	25
		de 1000 à 10000 —	40
	au-dessus de 10000.....	60	
Compteurs et wattmètres.	Courant continu, 2 fils,	de 0 à 100 ampères et de 0 à 250 volts.....	20
		de 100 à 1000 ampères et de 0 à 250 volts.....	30
		de 0 à 100 ampères et de 250 à 1000 volts.....	30
		de 100 à 1000 ampères et de 250 à 1000 volts.....	40
		Étude de la marche d'un compteur pendant une heure.....	40
	3 fils.	Les prix précédents sont majorés de moitié.	
	5 fils.	Les prix précédents sont doublés.	

(1) Le présent tarif (1901) annule les précédents.

			Fr
Compteurs et wattmètres (suite).	Courants alter- natifs (42 S)	de 0 à 100 ampères et de 0 à 250 volts.....	30
		de 0 à 100 ampères et de 250 à 1000 volts.....	40
		de 100 à 1000 ampères et de 0 à 1000 volts.....	50
		Pour les étalonnements à des fréquences différentes de 42 les prix précédents seront majorés de 5 fr.	
	Courants alter- natifs biphasés ou triphasés.	Les prix des étalonnements sont dou- blés.	
Ohmmètres.	{	Jusqu'à un mégohm.....	15
		Par sensibilité en plus.....	5
Condensateurs.		Condensateur industriel (capacité).....	10

DEUXIÈME CATÉGORIE. — *Essais d'appareils industriels.*

Machines géné- ratrices et moteurs.	Courant continu.	Détermination du rendement par la mé- thode des pertes séparées :	
		de 0 à 5 kilowatts.....	30
		de 5 à 10 —	35
		de 10 à 15 —	40
		Essai au frein :	
		jusqu'à 1 kilowatt.....	25
Transformateurs.	Courants alter- natifs.	de 1 à 5 kilowatts.....	35
		Essai en charge comprenant la mesure des échauffements et des isolements des diverses parties de la machine au bout d'un temps donné (énergie non comprise).....	15
	{	Prix à fixer suivant le programme des essais.	
	Mesure de la puis- sance absorbée à vide :	jusqu'à 10 kilowatts.....	25
		de 10 à 100 kilowatts.....	5
Piles	{	Essais divers (ren- dement, chute de tension, etc.).	
		Prix à fixer suivant le programme des essais.	
		Essai d'une pile fermée continuellement sur une résistance fixe.....	30

		Fr
Accumulateurs.	{ Chaque charge mesurée, énergie non comprise.....	10
	{ Chaque décharge mesurée.....	10
	{ Chaque charge ou chaque décharge non mesurée, énergie non comprise.....	5
Lampes à incandescence jusqu'à 220 volts).	{ Puissance dépensée et intensité lumineuse dans une direction donnée et pour une différence de potentiel donnée, pour une lampe.....	5
	{ Pour 2 à 5 lampes de même tension.....	10
	{ Détermination de la différence de potentiel correspondant à une intensité lumineuse donnée, par lampe.....	5
	{ Variation de l'intensité lumineuse avec la tension.....	10
	{ Courbe de répartition lumineuse dans un plan	20
	{ Essai de durée. { 1° Courant fourni par le Secteur de la Rive gauche : 1,50 fr par kilowatt-heure (alternatif 42 ~).	
	{ 2° Courant fourni par des accumulateurs : 2 fr par kilowattheure.	
	{ Il est demandé pour chaque série d'essais une lampe supplémentaire qui est gardée par le Laboratoire.	
	{ Puissance dépensée et intensité lumineuse dans une direction donnée.....	20
	{ Courbe de répartition lumineuse dans un plan vertical....	50
Lampes à arc.	{ Détermination du flux lumineux (ou de l'intensité moyenne sphérique) au moyen du lumenmètre pour un arc nu et un régime déterminé.....	20
	{ Par régime supplémentaire	5
	{ Enregistrement, pendant une heure, sur un même graphique, de l'intensité du courant et de la différence de potentiel aux bornes d'une, deux ou trois lampes en série.	25
Brûleurs à gaz et sources lumineuses diverses.	{ Consommation par heure et intensité lumineuse dans une direction donnée.....	20
	{ Étalonnement à une intensité lumineuse donnée.....	30
	{ Courbe de répartition lumineuse dans un plan.....	50
Éclairément.	{ Mesure de l'éclairément en un point quelconque.....	15
	{ Par point supplémentaire.....	5
Paratonnerres.	{ Vérification d'un paratonnerre, par prise de terre	20
	{ Mesure de la résistance du réseau, par mesure.....	
	{ Frais de déplacement non compris.	

TROISIÈME CATÉGORIE. — *Essais de matériaux.*

		Fr
Conducteurs.	Résistivité à la température ordinaire.....	20
	Résistivité à la température ordinaire et coefficient de variation avec la température.....	35
	Résistance d'un conducteur ou d'une bobine de plus d'un ohm à la température ordinaire.....	5
	Résistance d'un conducteur de moins d'un ohm à la température ordinaire.....	10
	Essais mécaniques d'un fil (charge de rupture, allongement, torsion, pliage)	10
Isolants.	Détermination de la résistivité d'un isolant, forme déterminée par le Laboratoire	25
	Résistance d'isolement d'un isolateur	20
	Essai de percement d'un isolant ou d'un isolateur à haute tension, jusqu'à 10000 volts.....	20
	Au-dessus de 10000 volts, par 10000 volts.....	10
	Essais précédents faits sur plusieurs isolateurs réunis en parallèle; les prix sont majorés d'une somme fixe de 1 fr par isolateur monté sur sa ferrure et de 2 fr par isolateur non monté sur sa ferrure.	
Câbles.	Détermination de la résistance d'isolement à la température ordinaire.....	20
	Essai d'un câble maintenu pendant vingt-quatre heures dans l'eau à 24°.....	50
Isolement des installations.	Une seule mesure d'isolement.....	10
	Par mesure supplémentaire.....	5
	Frais de déplacement non compris.	
Charbons.	Détermination de la résistance d'un charbon pour arc.....	5
	Flux lumineux produit par une paire de charbons à un régime déterminé, mesuré au lumenmètre.....	20
	Usure par heure d'une paire de charbons à un régime déterminé, énergie non comprise.....	5
Fers et tôles.	Perméabilité d'un échantillon de fer pour une force magnétisante donnée.....	25
	Étude du cycle d'aimantation entre deux valeurs données de la force magnétisante	50
	Essais de tôles à l'hystérésimètre.....	10

Pour tous ces essais, les échantillons doivent avoir les dimensions fixées par le Laboratoire.

QUATRIÈME CATÉGORIE. — *Mesures de précision.*

Résistances.	Étalonnement à $\frac{1}{1000}$ près d'une bobine de résistance de plus de $\frac{1}{10}$ d'ohm à la température ordinaire	10
	Étalonnement à $\frac{1}{1000}$ près d'une caisse de résistance, suivant le nombre des bobines; à partir de.....	25
	Étalonnement à $\frac{1}{10000}$ près d'un étalon de résistance à la température ordinaire.....	50
	Étalonnement à $\frac{1}{10000}$ près d'un étalon de résistance à zéro et coefficient de variation avec la température.....	100
	Résistance d'une barre métallique de moins de $\frac{1}{100}$ d'ohm et coefficient de variation avec la température.....	50
	Résistance à 0° d'un fil métallique de plus de $\frac{1}{100}$ d'ohm et coefficient de variation avec la température.....	25
Force électromotrice.	Étalonnement à $\frac{1}{1000}$ près de la force électromotrice d'un étalon de force électromotrice à la température ordinaire.	10
	Étalonnement à $\frac{1}{1000}$ près de la force électromotrice d'un étalon de force électromotrice et coefficient de variation avec la température.....	100
	Étalonnement à $\frac{1}{1000}$ près d'un voltmètre de précision à la température ordinaire	30
Intensité.	Étalonnement à $\frac{1}{1000}$ près d'un ampèremètre de précision.	30
Capacité.	Capacité d'un condensateur de précision.....	25
	— subdivisé	50
Induction.	Coefficient de self-induction d'une bobine sans fer; à partir de.....	10

Réduction de prix applicable au tarif des essais des quatre premières catégories.

Pour 5 essais identiques, réduction..	20 pour 100
— 10	30 —
— 25	40 —
— 50	50 —

CINQUIÈME CATÉGORIE. — *Travaux ou essais non prévus au tarif.*

Pour les travaux ou essais non prévus au tarif ci-dessus, tels que vérification d'installations, épreuves de réception de matériel électrique dans les ateliers de construction, essais sur place, etc., le prix sera établi de gré à gré, d'après le temps et les dépenses nécessaires.

Essais faits en dehors du Laboratoire.

Le tarif ci-dessus reste applicable, les prix sont majorés :

1° D'une indemnité pour le Laboratoire de 25 fr par jour et par ingénieur, ou de 15 fr par demi-journée;

2° Des frais de déplacement et de séjour.

Par exception, les étalonnements de compteurs, dans Paris, sont dispensés de l'indemnité prévue ci-dessus, mais non des frais de déplacement.

II. — Travaux ne donnant pas lieu à un certificat.

Essais faits au Laboratoire par l'intéressé lui-même sans le concours du personnel du Laboratoire

	Fr.
La journée de huit heures.....	15
La demi-journée de quatre heures.....	10
La semaine.....	50
Le mois.....	150

Les fournitures avancées par le Laboratoire sont facturées en sus au prix de revient. L'énergie électrique est comptée à raison de 1,50 fr par kilowattheure.

Le concours du personnel du Laboratoire pourra être obtenu, si les circonstances le permettent, dans les conditions suivantes :

25 fr par journée pour un agent du personnel technique.
10 fr — — — — — auxiliaire.

TARIF ADDITIONNEL.

1° VÉRIFICATION DES COMPTEURS ÉLECTRIQUES A COURANT CONTINU OU ALTERNATIF MONOPHASÉ A BASSE TENSION, INSTALLÉS SUR LES SECTEURS DE PARIS.

Calibre du compteur.	Deux fils.	Trois fils.	Cinq fils.
0- 10 ampères.....	10 fr	15 fr	20 fr
0- 30 —	15 —	20 —	30 —
0- 100 —	20 —	30 —	40 —
0-1000 —	30 —	45 —	60 —
Remise pour une deuxième vérification dans l'année.....	20 pour 100		
— — — troisième — — —	30 —		

Les frais de déplacement (4 fr au maximum), nécessités pour le transport des appareils et des ingénieurs, sont ajoutés aux prix ci-dessus.

2° VÉRIFICATION DANS PARIS DE L'ISOLEMENT DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES.

Calibre du compteur.	Deux fils.	Trois fils.	Cinq fils.
0- 10 ampères.....	15 fr	20 fr	30 fr
0- 30 —	20 —	30 —	40 —
0- 50 —	25 —	35 —	50 —
0- 100 —	30 —	45 —	60 —
0- 200 —	40 —	60 —	80 —
0- 400 —	55 —	85 —	110 —
0- 600 —	75 —	110 —	150 —
0- 800 —	100 —	150 —	200 —
0-1000 —	125 —	185 —	250 —

Remise pour une deuxième vérification dans l'année..... 20 pour 100
 — — troisième — — 30 —

Les prix ci-dessus ne comprennent pas les frais de déplacement.

Nota. — Les mesures d'isolement s'arrêtent au dernier interrupteur bipolaire.

3° VÉRIFICATION ANNUELLE D'UN COMPTEUR ET DES ISOLEMENTS.

Calibre du compteur.	Deux fils.	Trois fils.	Cinq fils.
0- 10 ampères.....	20 fr	»	»
0- 30 —	25 —	40 fr	»
0- 50 —	30 —	50 —	60 fr
0- 100 —	40 —	60 —	80 —
0- 200 —	55 —	85 —	110 —
0- 400 —	70 —	105 —	140 —
0- 600 —	90 —	130 —	180 —
0- 800 —	115 —	175 —	225 —
0-1000 —	140 —	200 —	275 —

Remise pour une deuxième vérification dans l'année..... 20 pour 100
 — — troisième — — 30 —

Les prix ci-dessus ne comprennent pas les frais de déplacement.

Si l'installation comporte plusieurs compteurs, les prix sont établis de gré à gré.

S.

3

**4° LAMPES A INCANDESCENCE (TARIF APPLICABLE SEULEMENT AUX ABONNÉS
DU PARAGRAPHE PRÉCÉDENT; ESSAIS FAITS AU LABORATOIRE).**

Intensité lumineuse et consommation.

De 1 à 5 lampes	5 fr
Au-dessus	1 fr par lampe

Le montant des essais est exigible d'avance.



ÉCOLE SUPÉRIEURE D'ÉLECTRICITÉ.

I. — RÈGLEMENT ADMINISTRATIF ⁽¹⁾.

ART. 1^{er}. — Le budget de l'École supérieure d'Électricité est alimenté :

- 1° Par les souscriptions recueillies pour l'entretien de l'École;
- 2° Par les rétributions des élèves et auditeurs libres.

ART. 2. — L'École est administrée par une Commission administrative qui comprend :

- 1° Le Président de la Société internationale des Électriciens;
- 2° Le Président de la Commission administrative du Laboratoire, Président;
- 3° Le Président désigné pour l'exercice suivant, le Trésorier et le Secrétaire général de la Société;
- 4° Le Secrétaire de la Commission administrative du Laboratoire;
- 5° Trois membres de la Société, élus pour trois ans par le Comité d'administration de la Société internationale des Électriciens;
- 6° Le Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures;
- 7° Les Membres fondateurs ⁽²⁾;
- 8° Le Directeur de l'École.

ART. 3. — La Commission administrative se réunit sur la convocation de son Président aussi souvent qu'il est nécessaire, et au moins trois fois par an.

Elle prépare le budget et le fait approuver par le Comité d'administration de la Société ;

Elle ouvre, dans les limites du budget, les crédits nécessaires au fonctionnement de l'École;

Elle se prononce sur toutes les questions relatives à la nomination et au traitement des Professeurs, des Conférenciers titulaires et du personnel;

Elle peut ouvrir des crédits extraordinaires dans la limite des ressources disponibles, sauf ratification par le Comité d'administration de la Société;

⁽¹⁾ Ce Règlement a été approuvé par le Comité d'administration dans sa séance du 24 février 1909.

⁽²⁾ Sont considérés comme Membres fondateurs les Administrations, Sociétés ou particuliers, qui contribueront à l'entretien et au développement de l'École par une souscription annuelle de 10000^{fr} ou par une donation de 10000^{fr}.

Ces Administrations ou Sociétés sont représentées à la Commission administrative par un délégué.

La Commission administrative peut désigner des Membres fondateurs honoraires.

Elle désigne les Jurys d'examen et fixe le nombre des élèves à recevoir chaque année;

Elle jouit enfin des pouvoirs administratifs les plus étendus.

ART. 4. — Il est institué un Conseil de perfectionnement de l'École qui comprend :

1° Les Membres de la Commission administrative;

2° Les anciens Présidents de la Société;

3° Le Sous-Directeur de l'École;

4° Les Professeurs et Conférenciers titulaires;

5° Le Président de la Société Amicale des Ingénieurs de l'École supérieure d'Électricité et deux anciens Élèves, désignés par cette Société parmi les Élèves diplômés sortis depuis moins de cinq ans de l'École, et faisant ou non partie de cette Société.

Le Bureau du Conseil de perfectionnement est celui de la Commission administrative.

ART. 5. — Le Conseil de perfectionnement se réunit sur la convocation de son Président au moins deux fois par an.

Il détermine les conditions d'admission, les programmes d'enseignement et de travaux de l'École;

Il fixe les conditions de la collation des diplômes;

Et, en général, il connaît de toutes les questions qui concernent l'enseignement.

II. — COMMISSION ADMINISTRATIVE.

PRÉSIDENT.

MM.

Bouty, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

VICE-PRÉSIDENT.

Buquet, Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures.

SECRÉTAIRE.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur chef des Services électriques au Chemin de fer du Nord.

MEMBRES.

1° *Membres délégués de la Société internationale des Électriciens.*

Pellat, Président de la Société internationale des Électriciens.

Bochet, Président de la Société internationale des Électriciens pour 1910-1911.

Valbreuze (de), Secrétaire général de la Société internationale des Électriciens.

Violet (L.), Trésorier de la Société internationale des Électriciens.

Hillairet (A.), Ingénieur-constructeur.

Joubert (J.), Inspecteur général de l'Instruction publique, en retraite.

Pollard, Directeur du Génie maritime.

2° Membres fondateurs.

MM.

Bonaparte (Prince **Roland**), Membre de l'Institut.

Carpentier (**J.**), Membre de l'Académie des Sciences.

Chambre de Commerce de Paris.

Compagnie continentale Edison.

Compagnie française Thomson-Houston.

Eiffel, Ingénieur.

Harlé et C^{ie}.

Mascart (**Ch.**), ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Menier (**H.**).

Rothschild (baron **Edmond de**).

Santerre.

Société Gramme.

Ville de Paris.

3° Directeur de l'École.

Janet (**P.**), Professeur à l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

III. — CONSEIL DE PERFECTIONNEMENT.

PRÉSIDENT.

Bouty, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

VICE-PRÉSIDENT.

Buquet (**P.**), Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures.

SECRÉTAIRE.

Sartiaux (**Eug.**), Ingénieur chef des Services électriques au Chemin de fer du Nord.

MEMBRES.

1° Membres délégués de la Société internationale des Électriciens.

Pellat, Président de la Société internationale des Électriciens.

Bochet, Président de la Société internationale des Électriciens pour 1910-1911.

Valbreuze (**de**), Secrétaire général de la Société internationale des Électriciens.

Violet (**L.**), Trésorier de la Société internationale des Électriciens.

Hillairet (**A.**), Ingénieur-constructeur.

MM.

Joubert (J.), Inspecteur général de l'Instruction publique, en retraite.
Pollard, Directeur du Génie maritime.

2° Membres fondateurs.

Bonaparte (Prince Roland), Membre de l'Institut.
Carpentier (J.), Membre de l'Académie des Sciences.
Chambre de Commerce de Paris.
Compagnie continentale Edison.
Compagnie française Thomson-Houston.
Eiffel, Ingénieur.
Harlé et C^{ie}.
Mascart (Ch.), ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées.
Ménier (H.).
Rothschild (baron Edmond de).
Santerre.
Société Gramme.
Ville de Paris.

3° Directeur de l'École.

Janet (P.), Professeur à l'Université de Paris, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité.

4° Anciens Présidents.

Berger (Georges), Membre de l'Institut.
Sebert (Général H.), Membre de l'Institut.
Fontaine (H.), Ingénieur électricien.
Joubert (J.), Inspecteur général de l'Instruction publique, en retraite.
Carpentier (J.), Membre de l'Académie des Sciences.
Raymond (L.), Administrateur des Postes et Télégraphes, en retraite.
Postel-Vinay (A.).
Sciama (G.), Directeur de la *Maison Bréguet*.
Arsonval (D^r A. d'), Membre de l'Institut.
Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures.
Violle (J.), Membre de l'Institut.
Hillairét (A.), Ingénieur-constructeur.
Harlé (E.), Associé-Gérant de la *Maison Harlé et C^{ie}*.
Pollard (J.), Directeur du Génie maritime.
Bouty (E.), Membre de l'Institut.
Leblanc (M.), Ingénieur-conseil.
Boucherot (P.), Ingénieur-conseil.

5° Sous-Directeur de l'École.

Chaumat (H.), Agrégé des Sciences physiques.

6° *Professeurs et Conférenciers titulaires.*

MM.

Belugou, Ingénieur principal des Télégraphes.

Bochet, Ingénieur en chef de la *Maison Harlé et C^{te}*.

Boucherot, Ingénieur-conseil.

Brunswick, Ingénieur en chef de la *Maison Bréguet*.

Courtois, Directeur des constructions électriques à la Société industrielle des Téléphones.

Grosselin, Ingénieur civil des Mines.

Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Mazen, Ingénieur des *Services électriques des Chemins de fer de l'Ouest*.

Picou, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Sartiaux (Eug.), Ingénieur chef des Services électriques au *Chemin de fer du Nord*.

Tainturier, Directeur de l'*Usine électrique des Moulineaux*.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes.

7° *Délégués de la Société Amicale des Ingénieurs
de l'École supérieure d'Électricité.*

Cornuault (André), Ingénieur de la Compagnie continentale pour la fabrication des compteurs, Président de la Société.

Johann (C.), Ingénieur électricien.

Pistoye (H. de), Ingénieur de la Société *L'Éclairage électrique*.

IV. — SOUSCRIPTEURS.

Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériels d'usine.

Postel-Vinay.

Société du Creusot.

Société industrielle des Téléphones.

V. — PERSONNEL.

DIRECTEUR.

Janet (P.), Professeur à l'Université de Paris.

SOUS-DIRECTEUR.

Chaumat (H.), Agrégé des Sciences physiques.

CHEF DES TRAVAUX.

Bourguignon, Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité.

PRÉPARATEURS.

Iliovici (Avram-David), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité.

Roy (Louis-Maurice), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité.

CHEF D'ATELIER.

Marec (Eugène), ancien Élève des Écoles nationales d'Arts et Métiers, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité.

VI. — ORGANISATION DE L'ENSEIGNEMENT.

ADMISSION.

I. *Inscriptions.* — Tout candidat désirant obtenir son admission à l'École supérieure d'Électricité doit s'inscrire au Secrétariat de l'École en faisant connaître : 1° ses nom et prénoms; date et lieu de naissance; nationalité; 2° son adresse, ou, s'il est mineur, l'adresse de ses parents; 3° les études faites pendant les cinq dernières années; 4° les diplômes possédés et les titres divers.

Les pièces à présenter sont : 1° l'acte de naissance; 2° l'autorisation des parents dans le cas où le candidat est mineur; 3° la justification des diplômes et des titres.

Le registre d'inscription est ouvert du 1^{er} janvier au 1^{er} octobre de chaque année.

II. *Droits d'examens.* — Tout candidat au concours d'entrée doit verser, en s'inscrivant, une somme de 20^{fr}. Ce droit est réduit à 8^{fr} pour les licenciés et anciens élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers devant subir l'examen restreint prévu ci-après; les candidats à l'admission sur titres sont dispensés de tout droit.

III. *Concours d'entrée.* — L'admission à l'École supérieure d'Électricité, en qualité d'élève régulier, est prononcée à la suite d'un concours d'entrée qui a lieu tous les ans, dans la deuxième quinzaine d'octobre. Toutefois, une session spéciale a lieu dès le 1^{er} octobre : 1° pour les jeunes gens

appelés sous les drapeaux et en justifiant; 2° pour les licenciés ès sciences et les anciens élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers devant subir l'examen restreint prévu ci-après.

IV. Admissions sur titres. — Peuvent être dispensés du concours d'entrée, dans les limites des places disponibles et sous les conditions indiquées plus loin, les anciens élèves diplômés des Écoles suivantes : Centrale, Mines de Paris et de Saint-Étienne, Ponts et Chaussées, du Génie maritime; les officiers de la Marine de l'État; les anciens élèves français de l'École Polytechnique; les licenciés ès sciences pourvus des deux certificats de Physique générale et de Mécanique rationnelle; les élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers ayant obtenu aux examens de sortie, pour chacune des deux matières : Mécanique et Physique, une moyenne au moins égale à 14. Toutefois, les élèves médaillés des Écoles d'Arts et Métiers devront subir une épreuve orale sur le calcul différentiel et intégral, et les licenciés ès sciences une épreuve de dessin industriel et une épreuve orale sur la résistance des matériaux, conformément au programme d'admission ⁽¹⁾. Les demandes de dispenses doivent être présentées avant le 1^{er} octobre et accompagnées de pièces officielles justifiant les titres présentés, des notes de classement de sortie pour les élèves des Écoles et, généralement, de tous les renseignements de nature à permettre au Conseil d'apprécier les titres des Candidats. Toutes ces pièces sont examinées par un Jury spécial désigné par la Commission administrative et distinct du Jury du Concours.

V. Élèves étrangers. — Les élèves étrangers, munis de titres suffisants, peuvent être dispensés du concours d'entrée. La valeur des titres présentés est soumise à l'appréciation du Conseil de perfectionnement après examen par le Jury des admissions sur titres; les candidats qui désirent profiter de cette faveur doivent adresser une demande, avec pièces à l'appui, au Directeur de l'École avant le 1^{er} octobre.

VI. Nombre de places disponibles et limite des dispenses. — Le nombre total de places disponibles à l'École est fixé chaque année par la Commission administrative. Le conseil de perfectionnement se prononce sur les demandes d'admission sur titres et fixe le nombre maximum de places réservées au concours. Tout candidat dont la demande d'admission sur titres est rejetée par le Conseil a le droit de se présenter, dans la même session, au concours d'admission; il devra, dans ce cas, verser les droits d'examen prévus au paragraphe II.

⁽¹⁾ Il est instamment recommandé aux candidats dispensés, en tout ou en partie, des épreuves du concours d'admission, de revoir très soigneusement, avant leur entrée à l'École, les différentes matières portées au programme de ce concours; cette revision est indispensable pour suivre avec fruit l'enseignement de l'École.

VII. Liste d'admission supplémentaire. — Si, par suite de démissions ou autrement, un **certain** nombre de places deviennent disponibles, un Jury supérieur, formé de la réunion du **Jury d'admissions sur titres** et du Jury du concours, dresse, sans distinction de catégorie, la liste supplémentaire des candidats admis à bénéficier de ces places.

VIII. Programme du concours d'entrée. — Le programme du concours d'entrée est déterminé chaque année par le Conseil de perfectionnement de l'École; il comporte les matières suivantes :

Électricité;
Mathématiques;
Mécanique;
Résistance des matériaux;
Physique générale;
Chimie élémentaire;
Dessin industriel.

Les épreuves écrites, qui sont éliminatoires, consistent en :

- 1° Une composition sur l'Électricité générale (problèmes);
- 2° Un calcul logarithmique;
- 3° Un croquis à main levée.

Les épreuves orales consistent en :

- 1° Une interrogation sur l'Électricité générale;
- 2° Une interrogation sur les Mathématiques;
- 3° Une interrogation sur la Mécanique;
- 4° Une interrogation sur la Résistance des matériaux;
- 5° Une interrogation sur la Physique générale et sur la Chimie élémentaire;
- 6° Un calcul à la règle.

Les coefficients de ces diverses épreuves sont ainsi fixés :

<i>Épreuves écrites.</i>	
Électricité.....	10
Dessin industriel.....	4
Calcul logarithmique.....	1
<i>Épreuves orales.</i>	
Électricité.....	4
Mathématiques.....	3
Mécanique.....	3
Résistance des matériaux.....	2
Physique et Chimie.....	2
Calcul à la règle.....	1
Total.....	30

DURÉE DES ÉTUDES.

Les cours et exercices pratiques commencent le 1^{er} novembre et se terminent le 1^{er} août de chaque année.

NATURE DE L'ENSEIGNEMENT.

L'enseignement donné à l'École supérieure d'Électricité est en partie oral, en partie pratique.

I. Enseignement oral. — L'enseignement oral comprend :

- 1^o Un cours sur l'Électrotechnique générale;
- 2^o Un cours sur les mesures électriques;
- 3^o Une série de conférences sur des sujets spéciaux.

II Enseignement pratique. — L'enseignement pratique comprend :

- 1^o Des exercices de laboratoire;
- 2^o Des essais de machines;
- 3^o Des exercices d'atelier;
- 4^o Des visites d'usines;
- 5^o Des stages dans les principaux secteurs de Paris.

PROJETS.

Cinq projets sont donnés aux élèves dans le courant de l'année; ce sont :

- 1^o Un projet de machine à courant continu (calcul);
- 2^o Un projet de machine à courant continu (construction);
- 3^o Un projet de machine ou appareil à courant alternatif;
- 4^o Un projet d'installation d'éclairage ou de distribution d'énergie;
- 5^o Un projet d'appareillage.

EXAMENS.

Des interrogations, auxquelles participent tous les élèves, ont lieu régulièrement dans le courant de l'année; des examens de fin d'année sont subis, dans la seconde quinzaine de juillet, devant un jury désigné chaque année par le Conseil de perfectionnement.

DIPLÔMES.

Le diplôme d'Ingénieur électricien est exclusivement réservé aux élèves réguliers ayant suivi avec assiduité tous les exercices de l'École. Il est délivré à tout élève ayant obtenu une moyenne générale de 14 sur 20 pour les différentes notes de l'année.

Tout élève ayant obtenu la note moyenne 14 pour tous les exercices de l'Ecole (projets et examens de fin d'année non compris) et dont l'échec est dû à la faiblesse des notes obtenues pour les projets et les examens de fin d'année peut être autorisé à subir de nouveau ces épreuves l'année suivante.

L'autorisation n'est accordée qu'une seule fois sur une demande faite par le candidat dans les deux mois qui suivent la rentrée. Le candidat doit subir de nouvelles épreuves sur les parties d'examen pour lesquelles il n'aurait pas obtenu la note 14, et obtenir au moins la note 14 pour chacune des épreuves nouvelles.

AUDITEURS LIBRES.

Des auditeurs libres peuvent être admis aux cours et conférences après inscription au Secrétariat de l'Ecole.

L'admission aux exercices pratiques ne peut être autorisée qu'à titre exceptionnel par le Conseil de perfectionnement sur la proposition du Directeur de l'Ecole.

FRAIS D'ÉTUDES.

1° *Élèves réguliers :*

Frais d'études (1)	Fr. 1000
Outillage et cahiers (2).....	50

2° *Auditeurs et élèves libres :*

Cours sur l'Électrotechnique générale (3) ...	200
Cours sur les mesures électriques (3)	200
Conférences (3).....	200
Exercices de Laboratoire (3).....	300
Essais de machines (3).....	300
Exercices d'atelier (3).....	300

Les auditeurs ou élèves libres ne sont admis aux visites d'usines que s'ils sont inscrits au moins à trois cours ou exercices pratiques. Cette admission est d'ailleurs entièrement subordonnée aux nécessités des circonstances.

(1) Payables par moitié, au 1^{er} novembre et au 1^{er} mars.

(2) L'outillage, acquis par les élèves à leur entrée à l'Ecole, reste leur propriété personnelle

(3) Payables d'avance.

COURS ET CONFÉRENCES POUR L'ANNÉE 1908-1909.

Cours.

M. Janet (P.), Directeur de l'École : Électrotechnique générale.

M. Chaumat (H.), Sous-Directeur : Mesures électriques.

Conférences.

M. Belugou, Ingénieur principal des Télégraphes.

Télégraphie..... 6 conférences.

M. Bochet, Ingénieur en chef de la *Maison Harlé et C^{te}*.

Installations électriques, canalisation..... 7 conférences.

M. Boucherot, Ingénieur.

Calcul des alternateurs, transformateurs, alternomoteurs. 15 conférences.

M. Brunswick (E.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en chef de la *Maison Breguet*.

Calcul et construction des machines à courants continus;
construction des machines à courants alternatifs..... 19 conférences.

M. Chaumat, Sous-Directeur de l'École.

Électrochimie 7 conférences.

M. Courtois (Gabriel), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur des constructions électriques à la Société industrielle des Téléphones.

Construction des appareils et accessoires des tableaux de
distribution..... 10 conférences.

M. Grosselin, Ingénieur civil des Mines.

Canalisations souterraines 3 conférences.

M. Loppé, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Accumulateurs..... 6 conférences.

Essais de machines..... 18 conférences.

M. Mazen (A.), Ingénieur des Services électriques des Chemins de fer de l'Ouest-État.

Applications mécaniques de l'Électricité, traction électrique. 35 conférences.

M. Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures.

Stations centrales..... 6 conférences.

M. E. Sartiaux, Ingénieur chef des Services électriques au Chemin de fer du Nord.

Applications de l'Électricité aux chemins de fer 2 conférences.

M. Tainturier (C.), Directeur de l'usine électrique des Moulineaux.

Tramways électriques à contacts superficiels 3 conférences.

M. de la Touanne, Ingénieur des Télégraphes.

Téléphonie 5 conférences.

Conférences complémentaires.

M. Laporte, Sous-Directeur du Laboratoire central d'Électricité.

Éclairage électrique..... 6 conférences.

M. Latour (Marius).

Moteurs monophasés..... 2 conférences.

M. Routin.

Installations hydroélectriques..... 3 conférences.

M. Ferrié.

Télégraphie sans fil..... 3 conférences.

M. Villard, Membre de l'Institut, Professeur suppléant au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Rayons cathodiques et rayons X..... 2 conférences.

M. le Dr Broca, Agrégé de la Faculté de Médecine de Paris.

Accidents causés par l'électricité 1 conférence.

VII. — PROGRAMME D'ADMISSION ⁽¹⁾.

MATHÉMATIQUES ET MÉCANIQUE.

Mathématiques élémentaires. — Géométrie, Algèbre, Trigonométrie. — Usage des logarithmes et de la règle à calcul.

Compléments d'algèbre et éléments de géométrie analytique. — Fonctions; dérivées. — Représentations graphiques des fonctions usuelles. — Notions sur les séries. — Notions sur les quantités imaginaires.

Calcul différentiel et intégral. — Différentielles et quadratures usuelles. — Calcul des aires, des centres de gravité, des moments d'inertie; ellipse centrale d'inertie. — Équation différentielle linéaire à coefficients constants du premier et du second ordre, sans ou avec second membre.

Mécanique. — Vitesse; accélération; force; couple; travail; puissance. — Théorème des forces vives et son application aux machines simples. — Travail perdu dans le frottement. — Mouvements périodiques. — Mouvement d'un solide invariable autour d'un axe. — Cas particulier d'un corps suspendu par un fil de torsion, avec amortissement.

Mécanique appliquée. — Turbines hydrauliques; machines à vapeur moteur à gaz; frein de Prony.

Résistance des matériaux. — Moments d'inertie. — Définition des déformations. — Coefficients d'élasticité; limite d'élasticité; résistance à la rupture; coefficients de sécurité; valeurs admissibles dans la pratique pour les matériaux usuels. — Pièces chargées debout. — Formule relative à la flexion; forces élastiques normales et tangentielles) cas général. — Courbure d'une pièce soumise à une flexion plane. — Définition des appuis; applications à des cas usuels; pièces droites appuyées et encastées. — Éléments de statique graphique; polygone dynamique; polygone funiculaire. — Notions élémentaires sur les ressorts. — Force d'inertie; efforts moléculaires dans le cas d'une jante de volant en mouvement de rotation uniforme.

PHYSIQUE.

Unités. — Système C. G. S.; système pratique.

Chaleur. — Lois fondamentales.

Thermodynamique. — Équivalence de la chaleur et du travail; principe de la conservation de l'énergie.

Optique. — Propriétés des lentilles et des miroirs.

(¹) Ce programme sera mis en vigueur au concours d'entrée qui aura lieu en octobre 1908.

ÉLECTRICITÉ.

Phénomènes fondamentaux; lois numériques de l'électrostatique, de l'électrocinétique, du magnétisme, de l'électromagnétisme et de l'induction.

CHIMIE.

Préparation et propriétés des principaux corps de la Chimie minérale.

DESSIN INDUSTRIEL.

Un croquis coté de machine à main levée.

On comprendra l'esprit de ce programme à l'aide des développements qui suivent et qui sont donnés à titre de simple renseignement.

COMPLÉMENTS D'ALGÈBRE.

Fonctions continues. — Exemples (Polynomes. — Fonctions rationnelles. Fonctions circulaires. — Fonction exponentielle; définition de e). — Variations et représentation graphique d'une fonction; définition de la dérivée (interprétation géométrique); fonctions croissantes et décroissantes; maxima et minima.

Calcul des dérivées. — Dérivée d'une somme, d'un produit, d'un quotient, d'une fonction de fonction. Dérivées des fonctions e^x , $\log x$, x^m , $\sin x$, $\cos x$, $\tan x$, $\arcsin x$; $\arccos x$, $\arctan x$. Dérivées d'ordre supérieur. — Fonctions de plusieurs variables; dérivées partielles d'ordre quelconque.

Séries. — Notions sur la convergence.

Séries de Taylor et Maclaurin. — Développement de e^x , $\sin x$, $\cos x$ suivant les puissances de x .

Quantités imaginaires. — Opérations sur ces quantités. — Formule de Moivre. — Définition de l'exponentielle imaginaire. — Relations $e^{\pm ix} = \cos x \pm i \sin x$. — Produit de deux exponentielles imaginaires. — Expression de $\sin x$ et de $\cos x$ à l'aide des exponentielles imaginaires.

ÉLÉMENTS DE GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE ⁽¹⁾.

Géométrie plane. — Coordonnées cartésiennes dans le plan; changement d'axes. — Coordonnées polaires. — Ligne droite. — Distance d'un

⁽¹⁾ On se bornera à la Géométrie plane.

point à une droite. — Courbes planes : tangente, concavité, inflexion, asymptotes. — Construction de courbes simples. — Étude sommaire des coniques. — Enveloppes.

CALCUL DIFFÉRENTIEL ET INTÉGRAL.

Infiniment petits des divers ordres. — Exemples géométriques ; courbure. — Différentielle du premier ordre d'une fonction d'une ou plusieurs variables. — Fonction primitive d'une fonction $f(x)$ (déduite de la notion d'aire). — Intégrales indéfinies usuelles :

$$\int \frac{dx}{x}, \quad \int \frac{dx}{x^2 \pm a^2}, \quad \int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}}, \quad \int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}}.$$

— Intégration d'une fonction rationnelle de x , d'une fonction rationnelle en $\sin x$, $\cos x$. — Calcul des intégrales définies ; applications géométriques et mécaniques : aires, volumes simples, arcs de courbe, moments d'inertie. — Notions sur les intégrales doubles et triples déduites des idées de volume et de masse d'un corps. — Équations différentielles du premier ordre ; cas simples d'intégration (équations à variables séparées, équations linéaires). — Équations linéaires du second ordre à coefficients constants, dont le second membre est un polynome en e^x , $\sin x$, $\cos x$.

MÉCANIQUE APPLIQUÉE.

Puissance utilisable d'une chute d'eau. — Principe des récepteurs hydrauliques. — Rendement. — Description sommaire des types usuels de turbines hydrauliques pour basses, moyennes et hautes chutes. — Régulation de la vitesse. — Description sommaire des types usuels de générateurs de vapeur. — Appareils de contrôle, de sûreté et d'alimentation. — Moteurs à vapeur monocylindriques, compound, à triple expansion. — Notions sommaires sur les turbines à vapeur. — Condensation par mélange, par surface. — Détente. — Distribution. — Son étude graphique. — Diagrammes. — Indicateurs. — Régulateurs. — Calcul approximatif de la puissance d'un moteur à vapeur à piston. — Principe du fonctionnement des moteurs à gaz à quatre temps. — Description sommaire d'une machine de ce type. — Allumage. — Refroidissement des parois.

RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX.

Moments d'inertie par rapport à un axe ; rayon de gyration ; ellipse d'inertie ; moment d'inertie polaire ; applications aux sections usuelles. — Définition des déformations : extension ; compression ; cisaillement ; torsion ; flexion. — Coefficients d'élasticité longitudinale et transversale ;

limite d'élasticité; résistance à la rupture; coefficients de sécurité; valeurs admissibles en pratique pour les matériaux usuels (métaux, bois, pierre, etc.). — Pièces chargées debout; compression des prismes courts ou longs; formules de flambage. — Formules relatives à la flexion; détermination des forces normales et tangentiellles; cas général. — Flexion plane; effort tranchant; moment fléchissant; composante normale. — Courbure d'une pièce soumise à une flexion plane; moment résistant $\left(\frac{RI}{V}\right)$; efforts de cisaillement longitudinal et transversal. — Définition des appuis; appui simple; encastrement. — Applications à des cas usuels pour des charges uniformément réparties ou isolées : pièces droites reposant sur deux appuis simples et pièces droites encastrees avec une extrémité libre; notions sommaires pour les cas : d'un appui simple et un encastrement, de deux encastrements, et d'une poutre à travées continues. — Éléments de statique graphique; polygone dynamique; polygone funiculaire; applications à des systèmes triangulés simples. — Notions élémentaires sur les ressorts; ressorts à lames; ressorts en hélice et en spirale. — Force d'inertie; efforts moléculaires dans le cas d'une jante de volant en mouvement de rotation uniforme.

L'attention des candidats est attirée sur la nécessité de vérifier l'homogénéité de toutes les formules employées, et de connaître les dimensions des diverses grandeurs et des principaux coefficients; la nomenclature employée par Hospitalier (*Formulaire de l'Électricien et du Mécanicien*, 1908) est expressément recommandée.

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES

DE LA

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

1909.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

ANNÉE 1909.

COMITÉ D'ADMINISTRATION.

Présidents honoraires.

- MM. **GEORGES BERGER**, ex-Directeur de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889,
Député de la Seine, Membre de l'Institut, 8, rue Legendre, à Paris, 17^e.
MAURICE LOEWY, *décédé en 1907*.
MASCART (E.), *décédé en 1908*.

Anciens Présidents.

Dates d'entrée
et de sortie.

- 1883-1885. **BERGER (GEORGES)**, ex-Directeur de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889, Député de la Seine, Membre de l'Institut, 8, rue Legendre, à Paris, 17^e.
1886. **LOEWY (MAURICE)**, *décédé en 1907*.
1887. **MASCART (E.)**, *décédé en 1908*.
1888. **LEMONNIER (PAUL)**, *décédé en 1894*.
1889. **SEBERT (Général H.)**, Membre de l'Institut, Administrateur de la *Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée*, 14, rue Brémontier, à Paris, 17^e.
1890. **FONTAINE (HIPPOLYTE)**, Ingénieur électricien, 58, rue N.-D.-des-Champs à Paris, 6^e.
1891. **JOUBERT (J.)**, Inspecteur général de l'Instruction publique, en retraite, 67, rue Violet, à Paris, 15^e.
1892. **CARPENTIER (J.)**, Ingénieur-Constructeur. Membre de l'Académie des Sciences, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg, à Paris, 6^e.
1893. **RAYMOND (L.)**, Administrateur des Postes et des Télégraphes, en retraite, 36, rue Washington, à Paris, 8^e.
1894. **POSTEL-VINAY (A.)**, 10, place Saint-François-Xavier, à Paris, 7^e.
1895. **POTIER (A.)**, *décédé en 1905*.
1896. **SCIAMA (GASTON)**, Directeur de la *Maison Breguet*, 19, rue Didot, à Paris, 14^e.
1897. **ARSONVAL (Dr A. D')**, Membre de l'Institut, Professeur au *Collège de France*, Directeur du *Laboratoire de Physique biologique*, 12, rue Claude-Bernard, à Paris, 5^e.

Dates d'entrée
et de sortie.

1898. PICOU (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand, à Paris, 17^e.
1899. VIOLLE (J.), Membre de l'Institut, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 89, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5^e.
1900. MASCART (E.), *décédé en 1908*.
1901. HILLAIRET (A.), Ingénieur constructeur, 22, rue Vicq-d'Azir, à Paris, 10^e.
1902. HARLÉ (E.), Associé-Gérant de la *Maison Harlé et C^{ie}*, 26, avenue de Suffren, à Paris, 15^e.
1903. HOSPITALIER (Ed.), *décédé en 1907*.
1904. POLLARD (J.), Directeur du Génie maritime, 8, rue de Berri, à Paris, 8^e.
1905. BOUTY (E.), Membre de l'Institut, Professeur à la *Faculté des Sciences de Paris*, 5, rue du Faubourg-Saint-Jacques, à Paris, 14^e.
1906. LEBLANC (MAURICE), Ingénieur-Conseil de la *Société anonyme Westinghouse*, le Val-sur-Seine, à Croissy (Seine-et-Oise).
1907. BECQUEREL (H.), *décédé en 1908*.
1908. BOUCHEROT (P.), Ingénieur-Conseil, 127, avenue de Paris, à Rueil (Seine-et-Oise).

BUREAU.

Président.

PELLAT (HENRI), Professeur à la *Faculté des Sciences de Paris*, 23, avenue de l'Observatoire, à Paris, 6^e.

Président pour l'exercice 1909-1910.

BOCHET (A.), Ingénieur en chef de la *Maison Harlé et C^{ie}*, Administrateur des *Chantiers et Ateliers Augustin Normand*, etc., 2, rue Scheffer, à Paris, 16^e.

Vice-Présidents.

- 1907-1910. ARNOUX (R.), Ingénieur-Constructeur, 45, rue du Ranelagh, à Paris, 16^e.
1907-1910. LARNAUDE (A.), Administrateur-Directeur de la *Compagnie française pour la fabrication des lampes électriques à incandescence*, 31, rue Camille-Desmoulins, à Issy-les-Moulineaux (Seine).

* *

- 1908-1911. DEVAUX-CHARBONNEL (XAVIER), Ingénieur des Télégraphes, 286, boulevard Raspail, à Paris, 14^e.
1908-1911. MAZEN (ANTOINE), Ingénieur des *Services électriques des Chemins de fer de l'Ouest*, 35, rue Magenta, à Asnières (Seine).

* *

- 1909-1912. ARMAGNAT (H.), Ingénieur-Conseil, 67, rue du Ranelagh, à Paris, 16^e.
1909-1912. BRUNSWICK (E.), Ingénieur en chef de la *Maison Breguet*, 1, rue Alphonse-Daudet, à Paris, 14^e.

Secrétaire général.

Dates d'entrée
et de sortie.

1909-1911. VALBREUZE (R. DE), Ingénieur électricien, 8, rue Lévis, à Paris, 17^e.

Secrétaires.

1907-1910. BOUTIN (M.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 11, rue Henri Martin, à Paris 16^e.

1909-1910. MONGIN (E.), Ingénieur, 3, rue César-Franck, à Paris, 15^e.

1908-1911. JOLY (L.-E.), Ingénieur aux Ateliers Carpentier, 193, boulevard Raspail, à Paris, 6^e.

1908-1911. LIOUVILLE (L.), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Germain par Corbeil (Seine-et-Oise).

1909-1912. BETHENOD (J.), Ingénieur-Conseil, 79, rue Saint-Louis-en-l'Île, à Paris, 4^e.

1909-1912. GUÉRY (F.), Ingénieur électricien. 18 bis, rue du Marché, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

Trésorier.

1908-1910. VIOLET (LÉON), Ingénieur, 6, rue de l'Abbaye, à Paris, 6^e.

MEMBRES DU COMITÉ.

1907-1910. ALLIOT (R.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 38, rue de Reuilly, à Paris, 12^e.

1907-1910. BLONDEL (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 41, avenue de La Bourdonnais, à Paris, 7^e.

1909-1910. CELLERIER, Directeur du Laboratoire d'essais au *Conservatoire national des Arts et Métiers*, 292, rue Saint-Martin, à Paris, 3^e.

1907-1910. CORNUAULT (E.), Administrateur délégué de la *Compagnie du gaz de Marseille*, 4, rue Jean-Goujon, à Paris, 8^e.

1907-1910. DAVID (CH.), Chef de Travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 69, avenue de Ségur, à Paris, 15^e.

1907-1910. DURAND (A.), Chef de Travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 52, boulevard Saint-Jacques, à Paris, 14^e.

1907-1910. GUILLAUME (CH.-ED.), Directeur adjoint du *Bureau international des Poids et Mesures*, Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).

1907-1910. HELMER (O.), Ingénieur-Conseil de *M. Schneider et C^{ie}*, 3, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé (Seine).

1907-1910. LABOUR (E.), Ingénieur des ateliers de la Société *l'Éclairage électrique*, 1, avenue Victor-Hugo, à Boulogne-sur-Seine (Seine).

1907-1910. LELONG (R.), Ingénieur en chef de la Marine, 20, rue de Tournon, à Paris, 6^e.

Dates d'entrée
et de sortie.

- 1907-1910. LORIN (Ch.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 21, avenue de Tourville, à Paris, 7^e.
1907-1910. MARCHENA (DE), Ingénieur en chef de la *Compagnie française Thomson-Houston*, 3, rue Meissonier, à Paris, 16^e.
1907-1910. POMEY (J.), Ingénieur des Télégraphes, 140, boulevard Raspail, à Paris, 6^e.
1907-1910. SARTIAUX (Eug.), Ingénieur Chef des *Services électriques au Chemin de fer du Nord*, 48, rue de Dunkerque, à Paris, 9^e.
1907-1910. TISSOT (C.), Lieutenant de vaisseau, Professeur à l'*École navale*, à Brest (Finistère).
1907-1910. TOUANNE (DE LA), Ingénieur des Télégraphes, 80, rue Bonaparte, à Paris, 6^e.

* *

- 1908-1911. BÉLUGOU (V.), Ingénieur en chef des Postes et des Télégraphes, 103, rue de Grenelle, à Paris, 7^e.
1908-1911. BERTHELOT (D.), Professeur à l'*Université de Paris*, 31, rue de Tournon, à Paris, 6^e.
1908-1911. BONAPARTE (Prince ROLAND), Membre de l'Institut, 10, avenue d'Iéna, à Paris, 16^e.
1908-1911. BOUTAN (A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 3, quai des Célestins, à Lyon (Rhône).
1908-1911. BRYLINSKI (E.), Directeur de la Société *Le Triphasé*, 5, avenue Toisonnière, à Asnières (Seine).
1908-1911. COURTOIS (G.), Directeur de l'*Usine des Constructions électriques de la Société industrielle des Téléphones*, 32, rue Théophile-Gautier, à Paris, 16^e.
1908-1911. DUMONT (E.), Fondé de pouvoirs de la *Société française des Câbles électriques*, 11, chemin du Pré Gaudry, à Lyon (Rhône).
1908-1911. FABRY (Ch.), Professeur à la *Faculté des Sciences de Marseille*, 1, rue Clavier, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
1908-1911. GASNIER (P.), Chef des travaux pratiques d'électricité, Chargé de conférences à l'*École de Physique et de Chimie industrielles de Paris*, 20, rue Hallé, à Paris, 14^e.
1908-1911. GROSSELIN (M.), Ingénieur civil des Mines, 26, rue Godot-de-Mauroi, à Paris, 9^e.
1908-1911. LAPORTE (F.), Sous-Directeur du *Laboratoire central d'Électricité*, 2, rue Saint-Simon, à Paris, 7^e.
1908-1911. LATOUR (M.), Ingénieur-Conseil de la *General Electric Co, Schenectady*, 22, rue de Tocqueville, à Paris, 17^e.
1908-1911. LOCHERER (G.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère, à Paris, 17^e.
1908-1911. MAUGAS (G.), Ingénieur en chef de la Marine, 15, rue Gustave-Zédé, à Paris, 16^e.
1908-1911. SWYNGEDAUF (R.), Professeur de Physique et d'Électricité indus-

Dates d'entrée
et de sortie.

- trielles à l'*Institut électrotechnique de Lille*, 1, rue des Fleurs, à Lille (Nord).
- 1909-1911. VAUTIER (T.), Professeur à la *Faculté des Sciences de Lyon*, 3, montée de Balmont, à Lyon (Rhône).
- * * *
- 1909-1912. ABRAHAM (H.), Maître de conférences à l'*École normale supérieure*, 45, rue d'Ulm, à Paris, 5°.
- 1909-1912. BROCA (D^r), Agrégé de la *Faculté de Médecine*, 7, cité Vaneau, à Paris, 7°.
- 1909-1912. CHAUMAT (H.), Sous-Directeur de l'*École supérieure d'Électricité*, 26, rue Ernest-Renan, à Paris, 15°.
- 1909-1912. CLAUDE (G.), Ingénieur, 30, rue Boissière, à Paris, 16°.
- 1909-1912. DESROZIERS (E.), Ingénieur électricien, 10, avenue Frochot, à Paris, 9°.
- 1909-1912. ESCHWÈGE (P.), Ingénieur civil des Mines, 26, rue Laffitte, à Paris, 9°.
- 1909-1912. FONTAINE (E.), Secrétaire général du *Syndicat professionnel des Usines d'électricité*, 27, rue Tronchet, à Paris, 8°.
- 1909-1912. JOUAUST (R.), Chef de travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 18, rue Dutot, à Paris, 15°.
- 1909-1912. JUMAU (L.), Ingénieur électricien, 47 bis, rue d'Orsel, à Paris, 18°.
- 1909-1912. LAURIOL (P.), Ingénieur en chef des *Services d'éclairage de la Ville de Paris*, 278, boulevard Raspail, à Paris, 14°.
- 1909-1912. LEGOUEZ (R.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 83, avenue Malakoff, à Paris, 16°.
- 1909-1912. MEYER (F.), Directeur de la *Compagnie continentale Edison*, 28, rue de Chateaudun, à Paris, 9°.
- 1909-1912. MONMERQUÉ (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 19, rue Decamps, à Paris, 16°.
- 1909-1912. POINCARÉ (L.), Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes, à Paris, 6°.
- 1909-1912. REY (J.), Gérant de la *Maison Harlé et C^{te}*, 26, avenue de Suffren, à Paris, 15°.
- 1909-1912. TAINURIER (C.), Directeur de l'*Usine électrique des Moulineaux*, 6, chemin de l'Ermitage à Meudon (Seine-et-Oise).

Secrétaire du Comité.

SABOURAIN (J.-A.), Directeur honoraire des Postes et des Télégraphes, 30, rue Bonaparte, à Paris, 6°.

SECTIONS DU COMITÉ.

1^{re} SECTION. — *Production et utilisation mécanique de l'Électricité.*

Président : M. BRUNSWICK.

Secrétaire : M. LIOUVILLE.

2^e SECTION. — Éclairage électrique.

Président : M. LARNAUDE.

Secrétaire : M. BOUTIN.

3^e SECTION. — Électrochimie. Électrométallurgie. Piles. Accumulateurs.

Président : M. ARNOUX (R.).

Secrétaire : M. GUÉRY.

4^e SECTION. — Canalisation. Distribution générale. Traction.

Président : M. MAZEN.

Secrétaire : M. MONGIN.

5^e SECTION. — Télégraphie. Téléphonie.

Président : M. DEVAUX-CHARBONNEL.

Secrétaire : M. JOLY.

6^e SECTION. — Recherches physiques. Électrophysiologie. Instruments de mesure.

Président : M. ARMAGNAT.

Secrétaire : M. BETHIENOD.

COMMISSION DES COMPTES.

ALIAMET (M.), Inspecteur-chef du *Laboratoire électrotechnique du chemin de fer du Nord*, 46, rue de la Concorde, à Asnières (Seine).

BOISTEL (E.), Ingénieur-Conseil, 66, rue de Vaugirard, à Paris, 6^e.

BROCQ, Ingénieur des Arts et Manufactures, 18, boulevard de Vaugirard, à Paris, 15^e.

COMMISSION CONSULTATIVE.

Avocat. — **CARPENTIER (A.),** Avocat à la Cour d'Appel, 4, rue du Cardinal-Lemoine, à Paris, 5^e.

Avoué. — **CAGNY (ANTOINE DE),** Avoué de 1^{re} instance, 11, rue de Rome, à Paris, 8^e.

Notaire. — **LANQUEST,** 92, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e.

Agent Administratif de la Société.

TESSIER (CHARLES), 14, rue de Staël, à Paris, 15^e.

MEMBRES CORRESPONDANTS.

Autriche.

ZIFFER (E.), Ingénieur civil, Président des *Chemins de fer Lemberg Czernowitz Jassy et des Chemins de fer Lemberg-Betzée* (Tomaszo'w), I, Opernring, 5, à Vienne.

Belgique.

BANNEUX (J.), Ingénieur en chef, Directeur des Télégraphes, à Bruxelles.

GERARD (ERIC), Directeur de l'*Institut électrotechnique Montefiore*, 35, rue Saint-Gilles, à Liège.

MENSBRUGGHE (GUST. VAN DER), Professeur à l'*Université de Gand*, à Gand.

États-Unis.

BARKER (GEORGE-F.), Université de Pensylvanie, à Philadelphie.

HERING (CARL), Consulting Electrical Engineer, Délégué général de la *Société internationale des Électriciens*, 929, Chesnut street, à Philadelphie.

Grande-Bretagne.

PREECE (WILLIAM-HENRY), F. R. S., M. Inst. C. E., Gothic-Lodge, Wimbledon Surrey.

Italie.

CATTANEO (Commandeur ROBERT), Administrateur délégué della *Società di Monteponi*, 51, via Ospedale, à Turin.

SEMMOLA (EUGÈNE), Directeur honoraire de l'*Observatoire météorologique de l'Université de Naples*, 53, Calata Trinita Maggiore, à Naples.

Pays-Bas.

BOSSCHA (J.), Secrétaire perpétuel de la *Société hollandaise des Sciences*, à Harlem.

Portugal.

CASTANHEIRA DAS NÈVES, Ingénieur, Délégué général de la *Société internationale des Électriciens*, rua do Salitre, 405-3°, à Lisbonne.

PAIVA (ADRIEN DE), Comte de Campo-Bello, Pair de Portugal, Professeur, Membre de l'*Académie royale des Sciences de Lisbonne*, etc., au château de Campo-Bello, à Gaya, près de Porto.

VIEGAS (D^r ANTONIO DOS SANTOS), à Coïmbra.

Suisse.

BOREL (D^r FRANÇOIS), Ingénieur, à Cortaillod.

WEBER (D^r H.-F.), Professeur, à Zurich.

I. — MEMBRES DONATEURS.

Berger (G.)	500,00
Cantacuzène	800,00
Carpentier	750,00
Grosselin	1750,00
Hadamard	500,00
Hillairet	850,50
Lemonnier (P.)	500,00
Romilly (de)	3000,00

II. — DONS POUR L'INSTALLATION DU LABORATOIRE.

Association amicale des Ingénieurs Électriciens	500,00
Berger (G.)	500,00
Classe 62 de l'Exposition de 1889	10778,40
Congrès international des Électriciens de 1889	5067,80
Delaunay-Belleville	5000,00
Feuquières (J.)	100,00
Gramme et Fontaine (H.)	10000,00
Lemonnier	1000,00
Mildé	500,00
Postel-Vinay	1000,00
Rochetin (J.)	100,00
Syndicat international des Électriciens, Exposition de 1889	4249,20
Syndicat professionnel des Industries électriques	150,00
T	5,00
Weiller (Lazare)	500,00

III. — SOUSCRIPTION POUR L'INSTALLATION DU LABORATOIRE. NOVEMBRE 1892.

Anonyme	500,00
Carpentier	3000,00
Christofle et C ^{ie}	5000,00
Compagnie de Fives-Lille	2500,00
Delaunay-Belleville	1000,00
Eiffel (G.)	5000,00
Fontaine (H.)	10000,00
Harlé	1500,00
Lemonnier	20000,00
Membres du syndicat professionnel des Industries électriques	18875,00
Menier frères	10000,00

Mouchel	100,00
Romilly (de)	5000,00
Rouart frères et C^{ie}	2000,00
Sautter (G.)	1500,00
Sautter (L.)	1000,00
Schneider et C^{ie}	5000,00
Société anonyme d'Éclairage électrique du Secteur de la place Clichy.	2500,00
Société alsacienne de constructions mécaniques	2500,00
Thénard (baron)	3000,00

DONS EN NATURE.

Hillairet : Installation de la partie mécanique du Laboratoire.
Weyher et Richemond : Machine à vapeur mi-fixe de 25 chevaux,
à triple expansion.

IV. — LEGS.

Cheux	37969,20
Giffard	100 000,00
Hughes	50 000,00

V. — SUBVENTIONS A L'ÉCOLE DE 1893 AU 1^{er} AVRIL 1907.

Anonyme	2000,00
Anonyme	200,00
Anonyme	500,00
Anonyme	600,00
Anonyme	1000,00
Azaria	1000,00
Bischoffsheim	10 000,00
Bochet	1800,00
Bonaparte (prince Roland)	10 000,00
Canet	5000,00
Carpentier	13 000,00
Chambre de Commerce de Paris	8500,00
Christoffe et C^{ie}	12 000,00
Compagnie de Fives-Lille	2000,00
Compagnie continentale Edison	12 500,00
Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz	3250,00
Compagnie pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston	13 000,00
Corbin	200,00
Cornuault	1000,00
Desroziers	2500,00
Eiffel	1000,00
Farcot	500,00
Fontaine (H.)	2500,00
Frédéric-Moreau	100,00

Garnier.....	250,00
Hattat.....	500,00
Herbault.....	500,00
Hillairet.....	1100,00
Maison Breguet.....	6000,00
Mascart (Ch.).....	1000,00
Ménier (H.).....	12000,00
Mors.....	1000,00
Picou.....	750,00
Porgés.....	2000,00
Postal-Vinay.....	11000,00
Romilly (de).....	15000,00
Rothschild (baron E. de).....	12000,00
Rouart.....	100,00
Routin.....	300,00
Sabatier.....	1000,00
Santerre.....	11500,00
Sautter-Harlé.....	13000,00
Schneider et C ^{ie}	3750,00
Société anonyme du secteur électrique de la place Clichy.....	500,00
Société alsacienne de Constructions mécaniques.....	500,00
Société anonyme des anciens Établissements Cail.....	250,00
Société Cance.....	750,00
Société d'Éclairage et de Force par l'Électricité.....	700,00
Société française de Physique.....	1500,00
Société Gramme.....	13000,00
Société industrielle des Téléphones.....	3500,00
Société pour la Transmission de la Force par l'Électricité.....	200,00
Société pour le travail électrique des métaux.....	500,00
Ténichef (prince).....	2000,00
Ville de Paris.....	14000,00
Weiller (Lazare).....	1500,00

VI. — OBLIGATIONS ET COUPONS ABANDONNÉS.

Bernheim.....	410,72
Bovet (de).....	200,00
Chapat.....	10,72
Chaperon.....	124,12
Coiseau.....	257,28
Desroziers.....	13,40
Duconso.....	37,52
Gallini.....	100,00
Hillairet.....	500,00
Hirsch.....	5000,00
Javaux.....	289,44
Mildé.....	16,08

Sartiaux (E.)	61,64
Société du Secteur de la place Clichy	410,72
Violet	131,32
Violle	100,00

VII. — DIVERS.

Anonyme	100,00
Braby	5,00
Classe 23 de l'Exposition de 1900	25360,05
Classe 25 de l'Exposition de 1900	4500,00
Classe 25 de l'Exposition de 1900 et M. H. Fontaine	1000,00
Classe 27 de l'Exposition de 1900	6963,05
Exposition de Liège (M. Eng. Sartiaux)	3085,00
Fontaine (H.)	400,00
Hughes (D.-E.)	20,00
Poincaré (L.)	50,00
Revue l' « Éclairage électrique »	86,00
Rochetin	205,00
Rothschild (baron A. de)	250,00
Rothschild (baron E. de)	250,00
Rothschild (baron G. de)	250,00

LISTE GÉNÉRALE DES MEMBRES

(Année 1909).

Les noms des Membres fondateurs sont suivis des lettres M. F.; ceux des Membres donateurs des lettres M. D.; ceux des Membres perpétuels (cotisations libérées), des lettres M. P.

N. B. — MM. les Membres sont priés de vouloir bien adresser au Secrétariat les corrections à introduire dans la présente liste.

-
- Abal** (Henri), Ingénieur électricien, E. S. E., Avenida Agraciada, 743, à Montevideo (Amérique du Sud).
- Abraham** (Henri), Maître de conférences à l'*École Normale supérieure*, 45, rue d'Ulm, à Paris, 5^e. M. P.
- Adams** (William-Grylls), Professeur, F. R. S., Heathfield, Broadstone Dorset (Angleterre). M. F.
- Albrand** (Emmanuel), Ingénieur à la *Société électrique du Littoral méditerranéen*, 95, cours Lieutaud, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Albuquerque** (Francisco d'), 80, rua do Rosario, à Porto (Portugal). M. F.
- Alby** (Amédée-Marie-Joseph), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 80, boulevard Flandrin, à Paris, 16^e. M. P.
- Alglave** (Émile), 27, avenue de Paris, à Versailles (Seine-et-Oise). M. F.
- Aliamet** (Maurice), Licencié ès Sciences, Inspecteur chef du *Laboratoire électrotechnique au Chemin de fer du Nord*, 46, rue de la Concorde, à Asnières (Seine).
- Alizan** (Marcel), Ingénieur, Directeur de la *Maison Raoul de Prez-Crassier, Moteurs et Gazogènes National*, 6, rue Mansart, à Paris, 9^e.
- Allain-Launay** (Jules-Hippolyte-Edmond), Ingénieur à la *Compagnie générale du gaz pour la France et pour l'étranger*, 98, avenue Niel, à Paris, 17^e.
- Allaire** (Edmond-L.-D.), Inspecteur des Postes et des Télégraphes, 18, rue Flatters, à Paris, 5^e. M. F.
- Allémandi** (Maurice-Louis), ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur à l'*Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft*, 30, rue de Saint-Pétersbourg, à Paris, 8^e.
- Alliot** (R.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Fabricant de câbles électriques, 38, rue de Reuilly, à Paris, 12^e.
- Almeida Lisbôa** (Joaquim-Ignacio de), Professeur au *Gymnase national*, Caixa postal, 1111, à Rio-de-Janeiro (Brésil).
- Ambrières** (Gouin d') (Georges-Marie-Symphorien-Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur de la *Compagnie Huanchaca de Bolivie* (Bolivie).
- Ameye** (Camille), à Iseghem (Belgique). M. F.
- Amiaud** (Pierre-Paul), 68, rue Claude-Bernard, à Paris, 5^e.
- Amiot** (Ignace), Électricien, 11, rue du Lunain, à Paris, 14^e.
- Amoudruz** (Arthur), *Bureau de Représentations industrielles*, 24, rue d'Armaillé, à Paris, 17^e.

- Amsler-Lafon** (J.), à Schaffhouse (Suisse). M. F.
- Ancel** (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur des services électriques de la *Maison P. Ancel et Seitz*, 28, avenue Raphaël, à Paris, 16^e.
- Anglade** (Jean-Joseph-Albert), Capitaine d'Artillerie au 9^e régiment d'Artillerie, à Castres (Tarn).
- Archat** (Paul), 14, rue Saint-Victor, à Paris, 5^e.
- Argyropoulos** (Constantin), 71, rue du Cardinal-Lemoine, à Paris, 5^e.
- Armagnat** (H.), Ingénieur-Conseil, Expert près le Tribunal civil de la Seine, 67, rue du Ranelagh, à Paris, 16^e.
- Armengaud aîné** (Charles-Eugène), 21, boulevard Poissonnière, à Paris, 2^e. M. F.
- Armengaud jeune**, Ingénieur civil, 23, boulevard de Strasbourg, à Paris, 10^e. M. F. M. P.
- Armet** (Henri-Joseph-Simon), Capitaine au 2^e régiment du Génie, ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 8 bis, rue Marceau, à Montpellier (Hérault).
- Arno** (Riccardo), Ingénieur, Professeur *R. Istituto Tecnico Superiore*, à Milan (Italie).
- Arnould** (Charles-Henri), Capitaine d'Artillerie, adjoint à la *Fonderie de canons*, à Bourges (Cher). M. P.
- Arnoux** (Henry), Lieutenant de vaisseau, 19, boulevard Flandrin, à Paris, 16^e.
- Arnoux** (René), Ingénieur-Constructeur, 45, rue du Ranelagh, à Paris, 16^e.
- Arquembourg** (Charles), Ingénieur délégué de l'*Association des Industriels du nord de la France*, 61, rue des Ponts-de-Comines, à Lille (Nord).
- Arsonval** (Dr A. d'), Membre de l'Institut, Professeur au *Collège de France*, Directeur du *Laboratoire de Physique biologique*, 12, rue Claude-Bernard, à Paris, 5^e. M. F.
- Association amicale des Ingénieurs, anciens élèves de l'Institut électrotechnique et de Mécanique appliquée**, 2, rue de la Citadelle, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Association des Anciens élèves de l'Institut électrotechnique de Grenoble**, 10, rue Humbert II, à Grenoble (Isère).
- Association des Propriétaires d'Appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise** (Service électrique), 41, rue Dufour, à Amiens (Somme).
- Aubert** (Auguste-Jean-Jacques), Inventeur et Constructeur du Compteur horaire d'électricité, *système A. Aubert*, 7, place Saint-François, à Lausanne (Suisse).
- Aubert** (Marcel), 135, route de Versailles, à Billancourt (Seine).
- Aubert** (Maurice), 135, route de Versailles, à Billancourt (Seine).
- Aubert** (Pierre-Edmond), Ingénieur des Arts et Manufactures, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Chef du Service électrique de la *Société des Mines et Usines Commentry-Fourchambault-Decazeville*, à Decazeville (Aveyron).
- Aubry** (E.), Ingénieur en chef de la Compagnie *La Française électrique*, 200, rue Lafayette, à Paris, 10^e.
- Aubry** (Jacques-M.-Jules), Ingénieur électricien de la *Société normande d'Électricité*, 73, rue de la République, à Rouen (Seine-Inférieure).
- Audoux** (Georges), 8, rue du Château-Landon, à Paris, 10^e.
- Aumont** (Léon-Édouard), 195, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Aussédât** (Louis-Auguste-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur général de la *Société des Forces du Fier*, 12, rue Royale, à Annecy (Haute-Savoie). M. P.
- Avril** (Charles-Louis-René), Ingénieur électricien, 58, rue Monsieur-le-Prince, à Paris, 6^e. M. F.

Azambre (Paul-Marie-Gustave), 59, rue de Babylone, à Paris, 7^e.

Azaria, Ingénieur, 5, rue Boudreau, à Paris, 9^e.

Babillot (Gabriel), Ingénieur, Constructeur mécanicien, 11 *ter*, rue Lebel, à Vincennes (Seine). M. F.

Bablon (V.), 42, rue Boulard, à Paris, 14^e. M. F.

Bachon (Lucien), Ingénieur, 8, rue Auguste-Bartholdi, à Paris, 15^e.

Badon-Pascal (Georges-Alexandre), Directeur de la *Société anonyme des anciens Établissements Lacarrière*, 30, rue des Dames, à Paris, 17^e.

Bähr (Georges-Martin-Victor), Ingénieur à la *Compagnie du Chemin de fer de Dakar à Saint-Louis*, à Dakar (Sénégal).

Baillat (Ernest), Ingénieur électricien, Administrateur délégué de la *Société hydro-électrique du Guiers*, à Pont-de-Beauvoisin (Isère).

Baillaud (Edouard-Benjamin), Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes, Directeur de l'*Observatoire*, à l'Observatoire, à Paris, 14^e.

Baille (J.-B.), Répétiteur à l'*École Polytechnique*, 26, rue Oberkampf, à Paris, 11^e. M. F. M. P.

Baillehache (R.-E.-J. de), Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur civil, Ingénieur aux services électriques de l'*Omniun Lyonnais*, 12, boulevard Pereire, à Paris, 17^e.

Bailly (Émile-Victor), Ingénieur, 5, boulevard Denain, à Paris, 10^e.

Bainville (Auguste-Henri), Ingénieur-Conseil, 6, avenue Rochegude, à Nanterre (Seine).

Bainville (P.-A.), Capitaine d'Artillerie, 17, rue Française, à Calais (Pas-de-Calais).

Bajanoff (Jean), Ingénieur électricien de la *Compagnie générale radiotélégraphique*, 125, boulevard de Grenelle, à Paris, 15^e.

Balme (E.-J.-F.), Ingénieur des Arts et Manufactures, *Constructions mécaniques et électriques*, 85, avenue Bosquet, à Paris, 7^e.

Bancelin (Edme-Henry), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur-Conseil, 21, rue Le Verrier, à Paris, 6^e.

Bankir (Jakoff), Ingénieur civil des Mines, Ingénieur Directeur des *Mines métalliques du Dauphiné*, à Vizille (Isère).

Banneux (J.), Directeur général des Télégraphes, à Bruxelles (Belgique). M. F.

Banti (Egisto), Ingénieur des *Ateliers Thomson-Houston*, 27, avenue du Maine, à Paris, 15^e.

Bapst (Henri), 4, rue Denfert-Rochereau, à Boulogne-sur-Seine (Seine).

Barbier (F.), Ingénieur, Constructeur de phares électriques, 82, rue Curial, à Paris, 19^e. M. F.

Barbier (Robert-Paul), de la *Maison Lepère et Barbier*, 125, avenue de Villiers, à Paris, 17^e.

Barbillion (Louis-Charles), Professeur à la *Faculté des Sciences de Grenoble*, Directeur de l'*Institut électrotechnique de l'Université*, 1, rue Villars, à Grenoble (Isère).

Barbou (A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Société Gramme*, 28, place Saint-Ferdinand, à Paris, 17^e.

Bardon (Louis), 61, boulevard National, à Clichy (Seine).

Bardot (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la *Société*

- anonyme des Forges et Fonderies de Montataire*, Fabricant de produits chimiques, 19, passage Duranton, à Paris, 15^e.
- Bardy** (Ch.), Directeur du *Laboratoire au Ministère des Finances*, 30, rue Miro-mesnil, à Paris, 8^e. M. P.
- Barennès** (Henri-Romain), ancien Élève de l'*École Polytechnique* et de l'*École supérieure d'Électricité*, à La Cote par Aix (Haute-Vienne).
- Bargeton** (Pierre), ancien Élève de l'*École Polytechnique* et de l'*École supérieure d'Électricité*, 45, boulevard du Muy, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Barillet** (Léon-Fernand), Ingénieur civil, 16, rue de Tilsitt, à Paris, 17^e.
- Barillot** (Albert-Alexandre-René), Licencié ès Sciences de la *Faculté de Paris*, 48, rue Jacob, à Paris, 6^e.
- Barker** (George-F.), Université de Pensylvanie, à Philadelphie (U. S. A.). M. F. M. P.
- Barraud** (Émile-Alphonse), Ingénieur, 82, rue du Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Barré** (Gaston-Émile), 12, rue du Commandant-Dumez, à Arras (Pas-de-Calais).
- Barré** (Pierre), Chef de traction à la *Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine*, 50, boulevard Voltaire, à Asnières (Seine).
- Barrière** (Just-Gustave-Camille), Directeur général de la *Société des Ciments Portland artificiels de L'Indo-Chine*, à Haïphong (Tonkin). M. P.
- Barris** (Pierre-Manuel-Guillaume), Ingénieur, Administrateur du *Sud électrique*, du *Sud-Lumière*, de la *Société nimoise d'Électricité*, de la *Société avignonnaise d'Électricité*, 51, rue de Clichy, à Paris, 9^e.
- Barthélemy** (Eugène-Léon-Pierre), Ingénieur de la traction et du matériel roulant à la *Compagnie des Tramways de Paris et du département de la Seine*, 26, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Barthélemy** (Henri-Joseph-Marie), Ingénieur stagiaire à la *Compagnie d'Électricité de Marseille*, 9, rue d'Arcole, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Bary** (Paul), Ingénieur-Conseil, 1, avenue de Peterhof, à Paris, 17^e.
- Basch** (Eugène), ancien Élève de l'*École Polytechnique* et de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société d'Électricité Alioth*, 67, avenue Kléber, à Paris, 16^e.
- Basquin** (Jules), Ingénieur électricien, 5, rue Charles-Picard, à Saint-Quentin (Aisne).
- Bassée** (Charles), Ingénieur civil, 4, avenue de la Dame-Blanche, à Fontenay-sous-Bois (Seine).
- Basset** (Raoul-Marie-Auguste-Eugène), Ingénieur des Services techniques des Mines à la *Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt*, à Homécourt (Meurthe-et-Moselle).
- Baudis** (Albert), Ingénieur à la *Compagnie de Commentry, Fourchambault, Decazeville*, à Decazeville (Aveyron). M. P.
- Baudot** (Victor-Marie), Ingénieur, 10, rue Nicolas-Charlet, à Paris, 15^e.
- Baudouin** (Édouard-Louis), 51, rue Saint-Didier, à Paris, 16^e.
- Baudoux-Chesnon** (Lucien-Léon), Licencié ès Sciences physiques, Ingénieur des Arts et Manufactures, A. C. T., Professeur de papeterie de l'*Université de Grenoble*, 2, rue des Jardins, à Grenoble (Isère).
- Baudran** (Émile-Paul-Édouard), Capitaine du Génie, Professeur à l'*École d'Application de l'Artillerie et du Génie*, à Fontainebleau (Seine-et-Marne).
- Baudry** (François-Charles), Administrateur-Directeur de la *Société française de dis-*

- tributions et de constructions électriques*, Administrateur de la *Compagnie générale d'éclairage de Bordeaux*, 55, boulevard de Caudéran, à Bordeaux (Gironde).
- Baume Pluvinel** (comte Aymar de la), 9, rue de la Baume, à Paris, 8^e. M. F. M. P.
- Baux** (Adolphe), Administrateur délégué de la *Société de l'Accumulateur Tudor*, 81, rue Saint-Lazare, à Paris, 9^e.
- Bazille** (Albert), Ingénieur des Télégraphes, 36, avenue de Lamotte-Picquet, à Paris, 7^e.
- Beau** (Henri), 226, rue Saint-Denis, à Paris, 2^e. M. F.
- Beaudier** (Albert-Marcel), Ingénieur à la *Compagnie française d'appareillage électrique*, 3, rue de la Véga, à Paris, 12^e.
- Beaujard** (Louis-Georges), Ingénieur à l'*Association lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à vapeur*, 37, cours du Midi, à Lyon (Rhône).
- Beauvois-Devaux** (André), Administrateur de l'*Ouest-Lumière*, Président de la *Compagnie des Locations électriques*, Trésorier de l'*Union des Syndicats de l'Électricité*, 78, avenue Henri-Martin, à Paris, 16^e.
- Becker** (Barthélemy-Joseph), Constructeur électricien, 18, avenue de Tourville, à Paris, 7^e.
- Becot** (Henri-Paul-F.), Ingénieur, *Accumulatoren Fabrik Aktien Gesellschaft*, à Hagen-i-W (Allemagne).
- Becq** (Louis-Albert), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Directeur de la *Lumière électrique*, 42, rue de Rennes, à Paris, 6^e.
- Bède** (Émile), ancien Professeur à la *Faculté des Sciences* et à l'*École des Mines de Liège*, 10 et 11, square Gutenberg, à Bruxelles (Belgique).
- Beghin** (Auguste-J.-A.), Professeur à l'*École nationale des Arts industriels de Roubaix* (coars de Chimie, Physique générale, Électricité industrielle), 30, rue Saint-Antoine, à Roubaix (Nord).
- Begin** (l'abbé P.-A.), Professeur de Physique au *Collège de Sherbrooke*, à Sherbrooke (Canada).
- Béglet** (Armand), Propriétaire, villa Charles-Hubert, à Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes).
- Belffs** (Georges-Frédéric), Stagiaire à la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, 22, rue de l'Industrie, à Belfort (Haut-Rhin).
- Belleville** (Jacques-Alphonse), Chef électricien de la *Station électrique de Saint-Pé-de-Bigorre*, à Saint-Pé-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).
- Bellini** (Ettore), Ingénieur à la dépendance d'un *Syndicat pour les études de l'exploitation du système de Télégraphie sans fil dirigeable Bellini-Tosi*, 5, via Ospedale, à Turin (Italie).
- Bellio** (Eugène-Jean), Administrateur délégué de la *Société de matériel et d'entreprises électriques*, 30, rue des Bons-Enfants, à Paris, 1^{er}.
- Bellon** (Jean-Joseph-Marie), 8, rue Edme-Guillout, à Paris, 15^e.
- Bellot** (Arsène-Henri), Sous-Archiviste au Conseil d'État, 85, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). M. F.
- Bellot** (Louis-D.), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Compagnie française Thomson-Houston*, Chantier des Tuilières, par Mouleydier (Dordogne).
- Belugou** (Victor), Ingénieur en chef des Postes et des Télégraphes, 103, rue de Grenelle, à Paris, 7^e.

- Benoist** (Georges), 169, boulevard Malesherbes, à Paris, 17^e.
- Bentley** (Sidney-Littledal), E.P.S. C^o, 4, Great Winchester Street, London E. C (Angleterre).
- Bérard**, (René), Lieutenant de vaisseau en retraite, à Villadon, par Buzançais (Indre).
M. P.
- Béranger** (Adrien-Fernand), Ingénieur E.S.E., 59, chemin d'Harly, à Saint-Quentin (Aisne).
- Berenguer** (Louis), Ingénieur, Fabricant de porcelaines, 207, Consejo de Ciento, à Barcelone (Espagne).
- Bergeon** (Paul), Ingénieur, Sous-Directeur de l'*Institut électrotechnique de Grenoble*, 44, rue de Turenne, à Grenoble (Isère).
- Berger** (Georges), Membre de l'Institut, Député de la Seine, Président de l'*Union centrale des Arts décoratifs*, Membre du Conseil supérieur des Beaux-Arts et du Conseil des Musées nationaux, Vice-Président du Conseil de perfectionnement du *Conservatoire national des Arts et Métiers*, Président de la *Société des Amis du Louvre*, 8, rue Legendre, à Paris, 17^e.
M. F. M. D. M. P.
- Berger** (Maurice), à Ahun (Creuse).
- Bergeron** (Louis), Ingénieur électricien à la *Maison Farcot frères et Cie*, 17, rue de Pontoise, à Ermont (Seine-et-Oise).
- Bergès** (Gabriel), Constructeur électricien, *Maison Bisson, Bergès et Cie*, 38, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris, 9^e.
- Bergon** (Louis), Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, en retraite, 9, rue de Condé, à Paris, 6^e.
M. F.
- Bergonié** (Dr Jean-Alban), Professeur de Physique biologique et d'Électricité médicale à l'Université, Chef du Service d'Électricité médicale des hôpitaux, Rédacteur en chef des *Archives d'Électricité médicale*, 6 bis, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).
- Berland** (Louis), Ingénieur à la *Compagnie d'Électricité de l'Ouest-Lumière*, à Puteaux, Ingénieur Conseil à la *Société des Usines à gaz du Nord et de l'Est*, 3, avenue de Vitry, à Villejuif (Seine).
- Bernard** (Adrien-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22 ter, avenue Jacqueminot, à Meudon (Seine-et-Oise).
- Berne** (Joseph-Marie), *Maison J.-A. Berne*, fabricant de charbons pour l'électricité, 68 bis, rue de Lagny, à Montreuil-sous-Bois (Seine).
- Berrier** (Maurice), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société Gramme*, 23, rue de Saint-Vincent de Paul, à Paris, 10^e.
- Berthelot** (Daniel-P.-A.), Professeur à l'*Université de Paris*, 31, rue de Tournon, à Paris, 6^e.
- Berthet** (Marcel-Louis), Sous-Chef de plate-forme aux *Ateliers Thomson-Houston*, 15, rue Levert, à Paris, 20^e.
- Berthier** (Alfred-Louis), 4, rue de l'Industrie, à Belfort (territoire de Belfort).
- Berthon** (J.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la *Société d'Applications industrielles*, Administrateur de la *Compagnie d'Électricité de l'Est parisien*, 20, rue Lafayette, à Paris, 9^e.
- Berthon** (Louis-Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la *Société Industrielle des Téléphones*, 51, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris, 9^e.
M. F.
- Bertoye** (Louis), Ingénieur attaché à la *Société grenobloise de Force et Lumière*, 37, rue Diderot, à Grenoble (Isère).

- tributions et de constructions électriques*, Administrateur de la *Compagnie générale d'éclairage de Bordeaux*, 55, boulevard de Caudéran, à Bordeaux (Gironde).
- Baume Pluvinel** (comte Aymar de la), 9, rue de la Baume, à Paris, 8^e. M. F. M. P.
- Baux** (Adolphe), Administrateur délégué de la *Société de l'Accumulateur Tudor*, 81, rue Saint-Lazare, à Paris, 9^e.
- Bazille** (Albert), Ingénieur des Télégraphes, 36, avenue de Lamotte-Picquet, à Paris, 7^e.
- Beau** (Henri), 226, rue Saint-Denis, à Paris, 2^e. M. F.
- Beaudier** (Albert-Marcel), Ingénieur à la *Compagnie française d'appareillage électrique*, 3, rue de la Vêga, à Paris, 12^e.
- Beaujard** (Louis-Georges), Ingénieur à l'*Association lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à vapeur*, 37, cours du Midi, à Lyon (Rhône).
- Beauvois-Devaux** (André), Administrateur de l'*Ouest-Lumière*, Président de la *Compagnie des Locations électriques*, Trésorier de l'*Union des Syndicats de l'Électricité*, 78, avenue Henri-Martin, à Paris, 16^e.
- Becker** (Barthélemy-Joseph), Constructeur électricien, 18, avenue de Tourville, à Paris, 7^e.
- Becot** (Henri-Paul-F.), Ingénieur, *Accumulatoren Fabrik Aktien Gesellschaft*, à Hagen-i-W (Allemagne).
- Becq** (Louis-Albert), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Directeur de la *Lumière électrique*, 12, rue de Rennes, à Paris, 6^e.
- Bède** (Émile), ancien Professeur à la *Faculté des Sciences* et à l'*École des Mines de Liège*, 10 et 11, square Gutenberg, à Bruxelles (Belgique).
- Beghin** (Auguste-J.-A.), Professeur à l'*École nationale des Arts industriels de Roubaix* (cours de Chimie, Physique générale, Électricité industrielle), 30, rue Saint-Antoine, à Roubaix (Nord).
- Begin** (l'abbé P.-A.), Professeur de Physique au *Collège de Sherbrooke*, à Sherbrooke (Canada).
- Béglet** (Armand), Propriétaire, villa Charles-Hubert, à Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes).
- Belfis** (Georges-Frédéric), Stagiaire à la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, 22, rue de l'Industrie, à Belfort (Haut-Rhin).
- Belleville** (Jacques-Alphonse), Chef électricien de la *Station électrique de Saint-Pé-de-Bigorre*, à Saint-Pé-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).
- Bellini** (Ettore), Ingénieur à la dépendance d'un *Syndicat pour les études de l'exploitation du système de Télégraphie sans fil dirigeable Bellini-Tosi*, 5, via Ospedale, à Turin (Italie).
- Bellioli** (Eugène-Jean), Administrateur délégué de la *Société de matériel et d'entreprises électriques*, 30, rue des Bons-Enfants, à Paris, 1^{er}.
- Bellon** (Jean-Joseph-Marie), 8, rue Edme-Guillout, à Paris, 15^e.
- Bellot** (Arsène-Henri), Sous-Archiviste au Conseil d'État, 85, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine). M. F.
- Bellot** (Louis-D.), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Compagnie française Thomson-Houston*, Chantier des Tuilières, par Mouleydier (Dordogne).
- Belugou** (Victor), Ingénieur en chef des Postes et des Télégraphes, 103, rue de Grenelle, à Paris, 7^e.

- Benoist** (Georges), 169, boulevard Malesherbes, à Paris, 17^e.
- Bentley** (Sidney-Littledal), E. P. S. C^o, 4, Great Winchester Street, London E. C. (Angleterre).
- Bérard**, (René), Lieutenant de vaisseau en retraite, à Villadon, par Buzançais (Indre).
M. P.
- Béranger** (Adrien-Fernand), Ingénieur E. S. E., 59, chemin d'Harly, à Saint-Quentin (Aisne).
- Berenguer** (Louis), Ingénieur, Fabricant de porcelaines, 207, Consejo de Ciento, à Barcelone (Espagne).
- Bergeon** (Paul), Ingénieur, Sous-Directeur de l'*Institut électrotechnique de Grenoble*, 44, rue de Turenne, à Grenoble (Isère).
- Berger** (Georges), Membre de l'Institut, Député de la Seine, Président de l'*Union centrale des Arts décoratifs*, Membre du Conseil supérieur des Beaux-Arts et du Conseil des Musées nationaux, Vice-Président du Conseil de perfectionnement du *Conservatoire national des Arts et Métiers*, Président de la *Société des Amis du Louvre*, 8, rue Legendre, à Paris, 17^e.
M. F. M. D. M. P.
- Berger** (Maurice), à Ahun (Creuse).
- Bergeron** (Louis), Ingénieur électricien à la *Maison Farcot frères et Cie*, 17, rue de Pontoise, à Ermont (Seine-et-Oise).
- Bergès** (Gabriel), Constructeur électricien, *Maison Bisson, Bergès et Cie*, 38, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris, 9^e.
- Bergon** (Louis), Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, en retraite, 9, rue de Condé, à Paris, 6^e.
M. F.
- Bergonié** (D^r Jean-Alban), Professeur de Physique biologique et d'Électricité médicale à l'Université, Chef du Service d'Électricité médicale des hôpitaux, Rédacteur en chef des *Archives d'Électricité médicale*, 6 bis, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).
- Berland** (Louis), Ingénieur à la *Compagnie d'Électricité de l'Ouest-Lumière*, à Puteaux, Ingénieur Conseil à la *Société des Usines à gaz du Nord et de l'Est*, 3, avenue de Vitry, à Villejuif (Seine).
- Bernard** (Adrien-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22 ter, avenue Jacqueminot, à Meudon (Seine-et-Oise).
- Berne** (Joseph-Marie), *Maison J.-A. Berne*, fabricant de charbons pour l'électricité, 68 bis, rue de Lagny, à Montreuil-sous-Bois (Seine).
- Berrier** (Maurice), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société Gramme*, 23, rue de Saint-Vincent de Paul, à Paris, 10^e.
- Berthelot** (Daniel-P.-A.), Professeur à l'*Université de Paris*, 31, rue de Tournon, à Paris, 6^e.
- Berthet** (Marcel-Louis), Sous-Chef de plate-forme aux *Ateliers Thomson-Houston*, 15, rue Levert, à Paris, 20^e.
- Berthier** (Alfred-Louis), 4, rue de l'Industrie, à Belfort (territoire de Belfort).
- Berthon** (J.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la *Société d'Applications industrielles*, Administrateur de la *Compagnie d'Électricité de l'Est parisien*, 20, rue Lafayette, à Paris, 9^e.
- Berthon** (Louis-Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de la *Société Industrielle des Téléphones*, 51, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris, 9^e.
M. F.
- Bertoye** (Louis), Ingénieur attaché à la *Société grenobloise de Force et Lumière*, 37, rue Diderot, à Grenoble (Isère).

- Bertrand** (Emile-Louis), Ingénieur adjoint à la direction, de la *Compagnie des Chemins de fer de la Camargue*, 20, rue de Staël, à Paris, 15°.
- Bertrand de Broussillon** (Henry-Xavier), 15, rue de Tascher, au Mans (Sarthe). M. P.
- Bertreux** (Henri), Ingénieur électricien, 9, avenue Allard, à Nantes (Loire-Inférieure).
- Besombes** (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Concessionnaire de l'éclairage électrique à Moret-sur-Loing, Représentant de la *Société des anciens Établissements Luc, Court et Cie*, Associé de la *Maison Besombes et Noël*, graveurs et estampeurs, 193, faubourg Poissonnière, à Paris, 9°. M. P.
- Besson** (Paul-Jules-Auguste), Ingénieur des Arts et Manufactures, Lauréat et ancien Membre du Comité de la *Société des Ingénieurs civils de France*, Administrateur délégué de la *Société Centrale de Produits Chimiques*, 59, rue Boissière, à Paris, 16°.
- Bethenod** (Joseph-Frédéric-Julien), Ingénieur Conseil, 79, rue Saint-Louis-en-l'Île, à Paris, 4°.
- Bickart** (Louis), Ingénieur, 146, rue de Courcelles, à Paris, 17°.
- Bidet** (Victor-Alphonse), Ingénieur civil des Mines, 1, boulevard Saint-Michel, à Paris, 6°. M. P.
- Bidot** (Roger), Ingénieur (E. I. M.) breveté de la *Faculté de Marseille*, Directeur de la Succursale de la *Compagnie méridionale d'éclairage et de force d'Avignon*, villa Alsace-Lorraine, vallon de l'Oriol, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Bidwell** (Shelford), Dr F. R. S., « Beechmead » Oatlands Chase Weybridge (Angleterre). M. F. M. P.
- Bienvenu** (René-Édouard-Honoré), 10, rue Jacquemont, Paris, 9°.
- Bilard** (André), Ingénieur à la *Société industrielle d'Énergie électrique*, 12, boulevard de Courcelles, à Paris, 17°.
- Biles** (Prosper), Directeur de la *Compagnie centrale d'Éclairage et de Transport de force par l'Électricité*, 23, cours Jean-Pénicaud, à Limoges (Haute-Vienne).
- Binet** (Paul), Capitaine d'Artillerie au 36° régiment d'Artillerie, 45, avenue Croix-Morel, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- Bion** (Eugène-Louis-Joseph), Enseigne de vaisseau, Station des sous-marins, à Cherbourg (Manche). M. P.
- Biver** (Louis-P.-A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Sous-Inspecteur des appareils électriques de la voie à la *Compagnie de l'Est*, 16, rue Cuvier, à Paris, 5°.
- Bizet** (Simon-Paul), Directeur général des stations centrales de la *Compagnie générale d'Électricité*, 47, rue des Mathurins, à Paris, 8°.
- Blaché** (Paul-Louis-Auguste), 12, boulevard Péreire, à Paris, 7°.
- Blaisse** (Laurent-Marie-Louis-Robert), 16, avenue d'Orléans, à Paris, 14°.
- Blanc** (Edmond-Émile-Pierre), Ingénieur civil des Mines, Concessionnaire des *Mines de fer et manganèse du Jaur*, 22, avenue de la Gare, à Bédarieux (Hérault).
- Blanc** (Jacques), Ingénieur de la *Maison Bruynswyk, Lelong, Blanc et Cie*, 140, rue de Paris, à Lille (Nord).
- Blanchet** (Arthur), Ingénieur à la *Compagnie pour la fabrication des compteurs*, 10, rue Valentin-Haüy, Paris, 15°. M. P.
- Blanchet** (Hector-Augustin), Ingénieur des Arts et Manufactures, Fabricant de papiers, *Maison Blanchet frères et Kléber*, à Rives (Isère).

- Blanchon**, Ingénieur, 43, rue des Dames, à Paris, 17^e.
- Blasberg** (Eugène), Directeur de l'*Usine de Langenargen*, à Fribourg (Grand-Duché de Bade).
- Blazy** (Albert), Administrateur de la *Société de Lille et Bonnières*, Administrateur de la *Société anonyme des Huiles et Graisses industrielles de Nanterre* (Seine), 11, place des Vosges, à Paris, 4^e.
- Bligny** (Joseph), Administrateur délégué de l'*Omnium français d'Electricité*, Concessionnaire ou Gérant de *Secteurs électriques* 6, rue Lesueur, à Paris, 16^e.
- Bloch** (D^r Adolphe), 24, rue d'Aumale, à Paris, 9^e.
- Bloch** (Emmanuel), Ingénieur principal de la *Maison Breguet*, 18, rue du Regard, à Paris, 6^e.
- Bloch** (Marcel-L.), Ingénieur des constructions civiles, Sous-Directeur de la *Banque transatlantique*, 27, rue Marbeuf, à Paris, 8^e.
- Bloch-Sée** (Alfred-Henri-François), Ingénieur de la *Société d'Electricité Mors*, 8, rue de Châteaudun, à Paris, 9^e.
- Blondeau** (Jules), Électricien, 15, passage Gourdon, à Paris, 14^e.
- Blondel** (André-Eugène), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'*École nationale des Ponts et Chaussées*, 41, avenue de La Bourdonnais, à Paris, 7^e. M. P.
- Blondel** (Louis-André), Constructeur, 49, boulevard Ducange, à Amiens (Somme).
- Blondin** (J.), Professeur au *Collège Rollin*, Directeur technique de *La Revue électrique*, 171, rue du Faubourg-Poissonnière, à Paris, 9^e.
- Bloomfield** (Charles-William), Ingénieur aux *Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est* (Service Câblerie), à Jeumont (Nord).
- Blot** (Paul-Émile), Lieutenant d'Artillerie, *École photo-électrique*, Le Havre (Seine-Inférieure).
- Bochet** (Adrien-Claude-Antoine-Marie), Ingénieur en chef de la *Maison Harlé et C^{ie}*, Administrateur des *Chantiers et Ateliers Augustin-Normand*, etc., 2, rue Scheffer, à Paris, 16^e. M. P.
- Bochet** (Louis), Ingénieur de la *Maison Frédéric Fouché*, 7, rue de la Mairie, à Nogent-sur-Marne (Seine).
- Bodenstedt** (Friedrich-Arnold), Ingénieur 3, Cornéliustrasse, à Berlin W. 10 (Allemagne).
- Boillot** (Émile-Gustave), ancien Ingénieur diplômé de l'*Université de Breslau*, 3, rue du Ponceau, à Paris, 2^e.
- Boireaux**, Lieutenant de vaisseau en retraite, à Herblay (Seine-et-Oise). M. F.
- Boisserand** (Philibert), Directeur de la *Station centrale d'Electricité de Compiègne*, 42, rue Blanche, à Paris, 9^e. M. P.
- Boistel** (Ernest), Ingénieur-Conseil, Expert près les Cours et les Tribunaux de la Seine, 66, rue de Vaugirard, à Paris, 6^e. M. F.
- Boitel** (Louis-Albert), Professeur au *Lycée Lakanal*, 4, rue Houdan, à Sceaux (Seine).
- Boivin** (Henri-Arsène), électricien, 16, rue de l'Abbaye, à Paris, 6^e.
- Bonaparte** (Prince Roland), Membre de l'Institut, 10, avenue d'Iéna, à Paris, 16^e.
- Bonfante** (F.), Ingénieur électricien, 190, boulevard Pereire, à Paris, 17^e. M. F.
- Bonneau** (Henri), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Chef adjoint de l'Exploitation des *Chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée*, 21, boulevard Saint-Germain, à Paris, 5^e.

- Bonnet** (Joseph), Ingénieur des Arts et Manufactures, 16, avenue de la Grande-Armée, à Paris, 17^e.
- Bons** (Henri-Georges), Capitaine d'Artillerie, Membre de la Commission d'études pratiques du Service de l'Artillerie dans l'attaque et la défense des places, à Toul (Meurthe-et-Moselle).
- Borderel** (Jean), Constructeur, 135, rue de Clignancourt, à Paris, 18^e.
- Bordet** (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la *Compagnie des Forges de Châtillon-Commentry*, 181, boulevard Saint-Germain, à Paris, 7^e. M. P.
- Bordier** (Gustave), Ingénieur à la *Société du Gaz et d'Électricité de Marseille*, 45, boulevard du Muy, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Boreau** (Gabriel), Ingénieur, Chef du Service technique de la *Maison Fabius Heurion*, 8, avenue de la Gare, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Borel** (Charles-François), Docteur ès sciences, à Cortaillod (Suisse).
- Borel** (Dr François), Ingénieur, à Cortaillod (Suisse). M. F.
- Borel** (Hermann-H.), Ingénieur à la *Société anonyme Westinghouse*, 71, rue de Chaillot, à Paris, 8^e.
- Borges** (F.-Julio), Agronome, Avenida Dona Amelia, 92-3^o D, à Lisbonne (Portugal). M. F.
- Bornand** (Edgard-Louis), Ingénieur, 32, Rue Tronchet, à Paris, 9^e.
- Borrel** (Georges-Arsène), Horloger mécanicien électricien, 7, rue Froissart, à Paris, 3^e.
- Bosscha** (J.), Secrétaire perpétuel de la *Société hollandaise des Sciences*, à Harlem (Pays-Bas). M. F.
- Bouchard** (Pierre-Joseph), Ingénieur au *Service électrique de la Société nouvelle des Établissements de l'Horme et de la Buire à Lyon*, avenue Victor-Hugo, à Tassin (Rhône).
- Bouchède** (Jean), ancien Directeur des Postes et des Télégraphes, rue d'Albret, à Foix (Ariège).
- Boucher** (Ant.), Ingénieur, à Prilly, canton de Vaud (Suisse).
- Boucherot** (Paul), Ingénieur-Conseil, Professeur à l'*École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris*, 127, avenue de Paris, à Rueil (Seine-et-Oise). M. P.
- Bouchet** (Maurice-René), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Alphonse-de-Neuville, à Paris, 17^e.
- Bouchon**, Ingénieur à la *Société électrique*, 52 bis, rue des Martyrs, à Paris, 9^e.
- Boudreaux** (Louis-François-Joseph), Fabricant de clichés galvanoplastiques, Président du *Syndicat des Galvanoplastes*, 8, rue Hautefeuille, à Paris, 6^e.
- Bouette** (William-Eugène), Sous-Directeur de la *Société anonyme Westinghouse*, 23, route de la Hève, à Sainte-Adresse (Seine-Inférieure).
- Bouget** (R.-L.-M.), Ingénieur, rue Émile-Cossé, à Nantes (Loire-Inférieure).
- Bouilhet** (Ch.-H.), Ingénieur manufacturier, 56, rue de Bondy, à Paris, 10^e.
- Bouillard** (Georges-Léon-Émile), Ingénieur en chef de l'*Exploitation du Chemin de fer de Pékin à Han-Kéou*, Poste française, à Pékin (Chine).
- Bouju** (Georges-Jean), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue Ernest-Renan, à Paris, 15^e.
- Boulanger** (Julien), Colonel du Génie, en retraite, 2 bis, rue Gagnereaux, à Dijon (Côte-d'Or). M. P.

- Boulardet** (Émile-Louis), Ingénieur, 63, rue Manin, à Paris, 19^e.
- Boulitte** (Georges), Ingénieur-Constructeur, 7, rue Linné, à Paris, 5^e.
- Bouquet** (Robert-P.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 8, pont de Moret, à Moret-sur-Loing (Seine-et-Marne).
- Bour** (Paul), Ingénieur en chef de la *Société pour la transmission de la force par l'Électricité*, 2, rue Greuzo, à Paris, 16^e.
- Bourdel** (J.-M.-A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur, Chef des Services électriques et mécaniques de l'*Entreprise générale du Chemin de fer des Alpes bernoises (Berne-Lätschberg-Simplon)*, 23, rue Saint-Pierre, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Bourgeois** (René-Jean-Marie-Joseph), E. P., E. S. E., Ingénieur à la *Société industrielle des Téléphones* (Service des câbles), 26, avenue de Mézières, à Charleville (Ardennes).
- Bourgue** (A.), Ingénieur de la *Manufacture parisienne d'Appareillage électrique*, 143, boulevard Murat, à Paris, 16^e.
- Bourguignon** (Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef de Travaux à l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue du Val-de-Grâce, à Paris, 6^e.
- Bourrellis** (Lucien-Louis-Guillaume), Ingénieur à l'*Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 81, boulevard Périer, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Boursault** (Henri-Alexandre-Octave), Ingénieur du *Service des Eaux et du Laboratoire au Chemin de fer du Nord*, 59, rue des Martyrs, à Paris, 9^e. M. F.
- Boursy** (Maurice), 8, rue Coëtlogon, à Paris, 6^e.
- Boury** (André), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 16, rue Jeanne-Hachette, à Paris, 15^e.
- Boussion** (Roger), 24, rue Mayet, à Paris, 6^e.
- Boutan** (Auguste), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur délégué de la *Compagnie du Gaz de Lyon*, 3, quai des Célestins, à Lyon (Rhône).
- Bouthillon** (Léon-Pierre-Narcisse-Émile), Ingénieur des Télégraphes, 54, rue Saint-Dominique, à Paris, 7^e.
- Boutin** (Maurice), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur Assistant de *M. A. Blondel*, 11, rue Henri-Martin, à Paris, 16^e.
- Boutrais** (Lucien), Attaché au laboratoire de la *Maison Carpentier*, 34, rue de Sèvres, à Paris, 7^e.
- Bouty** (E.), Membre de l'Institut, Professeur à la *Faculté des Sciences de Paris*, 5, rue du Faubourg-Saint-Jacques, à Paris, 14^e. M. P.
- Bouvier** (Ad.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Licencié ès Sciences physiques, Ingénieur au bureau de *M. Th. Vautier*, 46, rue Centrale, à Lyon; domicile : 25, avenue Noailles, à Lyon (Rhône).
- Bouvier** (Alfred), Électricien, 21, rue Joinville, à Laval (Mayenne).
- Bouvier** (Charles-Cyrille), Ingénieur des *Manufactures de l'État*, Directeur des *Services électriques du Ministère des Finances*, 7, rue de la Pompe, à Paris, 16^e.
- Boy de la Tour** (Henri), Ingénieur en chef du Service électrique de la *Compagnie de Fives-Lille*, 64, rue Caumartin, à Paris, 9^e.
- Braby** (Ivon), Ingénieur électricien, M. I. E. E., Helena Alan Road Wimbledon, à Londres (Angleterre). M. P.
- Brachet** (Henri), Sous-Directeur de la *Compagnie d'éclairage électrique du secteur des Champs-Élysées*, 36, avenue Niel, à Paris, 17^e. M. F.

- Brachotte** (Arsène-Victor), Ingénieur, Attaché à la Direction générale des *Glaceries de Saint-Gobain* (Service technique), 1 bis, place des Saussaies, à Paris, 8^e.
- Brait de la Mathe** (Étienne-Gaston), de la *Maison B. de la Mathe et Cie*, usine de Gravelle, à Saint-Maurice (Seine).
- Brancion** (Louis-Marie-Josseran de), Ingénieur, 5, place Saint-Michel, à Paris, 5^e.
- Branly** (Édouard), Docteur ès Sciences, Docteur en Médecine, 21, avenue de Tourville, à Paris, 7^e. M. F.
- Brault** (Camille), Ingénieur civil des Mines, 73, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e. M. P.
- Breguet** (Jacques), Ingénieur en chef des Services techniques aux Ateliers de Douai de la *Maison Breguet*, 18, rue François-Cuvelier, à Douai (Nord).
- Breguet** (Louis-Charles), Ingénieur-Conseil, Administrateur de la *Maison Breguet*, 4, rue Legendre, à Paris, 17^e, et 31, rue Morel, à Douai (Nord).
- Brémond** (Georges), 15, rue Darcet, à Paris, 17^e.
- Brénot** (Maxime-Charles), Sous-Directeur de l'*Usine centrale du Secteur de la rive gauche*, 41, quai d'Issy, à Issy-les-Moulineaux (Seine).
- Brès** (Henry), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à l'*Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 22, boulevard Victor-Hugo, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Bressot** (Joseph), Directeur des *Tramways électriques de l'Yonne*, 34, rue Alexandre-Marie, à Auxerre (Yonne).
- Briaudet** (Albert), 18^e batterie d'Artillerie, Caserne du Château, à Brest (Finistère).
- Brillié** (Lucien-Victor), Ingénieur électricien, 64, boulevard Bineau, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Brillouin** (André), Ingénieur-Conseil, 92, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e.
- Brillouin** (Marcel), Professeur au *Collège de France*, 31, boulevard du Port-Royal, à Paris, 13^e.
- Brison** (Henri-Louis), Directeur de la *Société d'entreprises électriques*, à Genève, 106, rue de Longchamps, à Paris, 16^e.
- Brissaud** (Jean-Abel), Secrétaire général de la *Société Biterroise de Force et Lumière*, 1, rue Mairan, à Béziers (Hérault).
- Brito** (Alfredo de), Constructeur électricien, Président de l'*Association des Ingénieurs mécaniciens portugais*, 52 à 74, rua de Santo-Antonio-dos-Capuchos, à Lisbonne (Portugal).
- Broca** (Dr André), Agrégé de la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau, à Paris, 7^e.
- Brocq**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Succursale de la *Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz*, 18, boulevard de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Brouard** (Jean-Louis-Jules), 4, rue des Quinze-Vingts, à Troyes (Aube).
- Brout** (Lucien-Édouard), Électricien, 34, rue des Vinaigriers, à Paris, 10^e.
- Brugnaud**, Contrôleur des Télégraphes, en retraite, 63, rue Pasteur, à Dôle (Jura).
- Bruhl** (Paul), Négociant, 57, rue de Châteaudun, à Paris, 9^e.
- Brulé** (Henri-Victor), Constructeur mécanicien, Gérant de la *Société H. Brulé et Cie*, 31, rue Boinod, à Paris, 18^e.
- Brüll** (Achille), Ingénieur civil, ancien Président de la *Société des Ingénieurs civils de France*, 117, boulevard Malesherbes, à Paris, 8^e.
- Brun** (Daniel-Joseph-Allain-Raoul), Ingénieur à la *Société anonyme Westinghouse*, 3, rue Saint-Roch, au Havre (Seine-Inférieure).

Brune (Paul), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 171, boulevard de la Liberté, à Lille (Nord).

Brunel (Honoré-Paul-François), 11, rue Brown-Séguar, à Paris, 15°.

Brunet (Albert), Directeur de la *Fabrique des Piles Delafon*, 128, rue de la Convention, à Paris, 15°.

Bruneteau (Marcel-Georges), Ingénieur constructeur, *Maison Luminais, Bruneteau et Cie*, 9, rue Dubreil, à Nantes (Loire-Inférieure).

Bruni (Alvezio), 26, via Vittoria, à Milan (Italie).

Brunswick (Ernest-Jacques-Léon), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en chef de la *Maison Breguet*, 1, rue Alphonse-Daudet, à Paris, 14°.

Brylinski (Émile), Directeur de la *Société « Le Triphasé »*, 5, avenue Teissonnière, Asnières (Seine). M. P.

Buffet (Ernest), Ingénieur, 75, avenue de la Grande-Armée, à Paris, 17°.

Bullier (Gabriel-Alfred), Ingénieur, 3, rue Bclorient, à Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord).

Bumsel (Henri), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 18^e Section de G. O. A., à Bordeaux-Brienne (Gironde).

Bunet (Paul), Ingénieur en chef aux *Ateliers Thomson-Houston*, 59, boulevard Pasteur, à Paris, 15°.

Bureau (Henri), 15, rue César-Franck, à Paris, 15°.

Burton (Charles), Administrateur délégué de la *Compagnie égyptienne Thomson-Houston*, 13, rue Soliman-Pacha, au Caire (Égypte).

Busson (Victor), Constructeur électricien, 65, rue de Bretagne, à Paris, 3°.

Butaud (Jean), Ingénieur électricien, Fabricant d'accumulateurs électriques, 23, rue Charles-Fourier, à Paris, 13°.

Cabaret (André-Louis-Marie), Ingénieur E. S. E., 6, rue du Gué-de-Maulny, au Mans (Sarthe).

Cabirau (Henri-François), à Monte-Carlo (Principauté de Monaco).

Cabral (Paul-Benjamin), Inspecteur général des Télégraphes du Portugal, Professeur d'Électrotechnie à l'*Institut industriel de Lisbonne*, 20, rua do Duque de Bragança, à Lisbonne (Portugal).

Cadiot (E.-H.), Constructeur électricien, 12, rue Saint-Georges, à Paris, 9°. M. F.

Cahen (Armand), ancien Élève de l'*École Polytechnique* et de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société coopérative des Fonderies, Laminoirs et Tréfileries de Rugles*, 79, avenue de Villiers, à Paris, 17°.

Cahen (Louis-David), Ingénieur des Télégraphes, 33, rue Jacquemars Gielée, à Lille (Nord).

Cahen (Marcel), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur à la *Maison Giros et Loucheur*, 42, avenue Niel, à Paris, 17°.

Cailhava (Édouard), Ingénieur civil, 8, cours de Gourguos, à Bordeaux (Gironde).

Cailho, Ingénieur des Télégraphes, Ingénieur chef du *Service électrique des Chemins de fer de l'État*, 23, rue Rémusat, à Paris, 16°. M. P.

Caillavet (Léon-J.), Ingénieur électricien, 18, rue Lecerf, à La Varenne-Saint-Hilaire (Seine).

Cailletet, Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5°.

Caire (Adolphe), 55, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5°.

- Calinaud** (Jacques), 20, rue de la Glacière, à Paris, 14°.
- Calmettes** (Gabriel-Émile), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Compagnie de Locations électriques*, Directeur de la *Compagnie générale de Lumière et de Traction*, 28, rue de Turin, à Paris, 8°.
- Calvé** (Fernand-Christophe), Ingénieur chef du service de la voie, des accès et du matériel fixe électrique à la *Compagnie du Chemin de fer métropolitain de Paris*, 4, rue de Sfax, à Paris, 16°.
- Campanakis** (Anastase), 11, rue Monge, à Paris, 5°.
- Canart** (Léon-Jules-Auguste), Ingénieur-Directeur de l'*Omnium électrique de Rouen*, 84, rue de la Grosse-Horloge, à Rouen (Seine-Inférieure).
- Cance** (Albert), Ingénieur des Arts et Manufactures, 159, rue du Faubourg-Poissonnière, à Paris, 9°.
- Cance** (Alexis), Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul, à Paris, 10°.
- Canet** (Paul-Adolphe), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 22, rue Octave-Feuillet, à Paris, 16°. M. P.
- Cannes** (Ilia), Ingénieur-Constructeur, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 408, Manhattan avenue, à New-York City (U. S. A.).
- Cannic** (Alexis), Capitaine d'Artillerie coloniale, à la *Fonderie de la Marine*, à Ruelle (Charente).
- Cantelaube** (Paul), Ingénieur électricien, 29, rue du Marché, au Vésinet (Seine).
- Cany** (Georges-Xavier), Ingénieur à la *Société française d'Électricité A. B. G.*, 12, rue de Paris, à Gennevilliers (Seine).
- Caplong** (Émile), Ingénieur, à Pointis-Inard (Haute-Garonne).
- Caraman** (Ernest de), Capitaine d'Artillerie, 3, avenue de l'Alma, à Paris, 8°.
- Cardot** (Abel), Conseiller à la Cour d'appel, 5, rue de Tanger, à Alger (Algérie). M. F.
- Carnot** (Jean), Ingénieur civil des Mines, 9, rue du Val-de-Grâce, à Paris, 5°.
- Carpentier** (J.), Ingénieur-Constructeur, Membre de l'Académie des Sciences, Membre du Bureau des Longitudes, 34, rue du Luxembourg, à Paris, 6°. M. F. M. D. M. P.
- Carré** (Charles-Léon), Ingénieur, 10, rue du Figuier, à Paris, 4°.
- Casas** (L.-R.), Ingénieur, Directeur des *Ateliers Abel Pifre*, 7, rue de Bapaume, à Albert (Somme).
- Cassegrain** (Fernand), Ingénieur à la *Maison Harlé et Cie*, 11, avenue Rapp, à Paris, 7°.
- Castan** (Adrien), Ingénieur civil, à Montauban (Tarn-et-Garonne). M. F.
- Castanheira das Neves** (J.-P.), Ingénieur en chef du corps du Génie civil, ancien Président de la *Société des Ingénieurs civils de Portugal*, Délégué général de la *Société internationale des Électriciens*, rua do Salitre, 405-3°, à Lisbonne (Portugal). M. F.
- Cathiard** (Georges-André-Marcel), 19, rue Singer, à Paris, 16°.
- Cattaneo** (Commandeur Robert), Administrateur délégué della *Società di Montepioni*, 51, via Ospedale, à Turin (Italie). M. F.
- Caussin de Perceval** (Marie-Albert), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 3, rue Alexandre-Lange, à Versailles (Seine-et-Oise). M. P.
- Cedergren** (Henrik-Thore), Directeur de la *Société générale des Téléphones*, à Stockholm (Suède).
- Cellerier** (Jean-Fernand), Directeur du *Laboratoire d'essais au Conservatoire national des Arts et Métiers*, 292, rue Saint-Martin, à Paris, 3°.

- Cervera y Jacome** (Louis), Directeur de la *Electra popular de Vigo y Redondela*, à Vigo, et attaché au service technique de la *Sociedad general Gallega de Electricidad*, 67, rue Duque-de-la-Victoria, à Vigo (Espagne). M. P.
- Chabert** (François-Max), Ingénieur électricien (E. S. E. P.), *Compagnie française de Constructions électriques et mécaniques*, 34, rue Marjolin, à Levallois-Perret (Seine).
- Chabert** (Léon), 38, rue Juliette-Lamber, à Paris, 17^e. M. F.
- Chaboche** (Edmond), 30, rue de la Tour-d'Auvergne, à Paris, 9^e.
- Chabot** (Louis), 9, rue du Vieux-Marché-aux-Poulets, à Lille (Nord).
- Chabrié**, Professeur à la *Faculté des Sciences*, 83, rue Denfert-Rochereau, à Paris, 14^e.
- Chalmel** (Marie-Henri), Capitaine d'Artillerie, 27, boulevard Cotte, à Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise).
- Chalons** (Louis-Charles), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, 198, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Chambost** (Pierre-Jules-Eugène-Édouard), 29, rue Murillo, à Vanves (Seine).
- Chamon** (Gabriel), Administrateur de la *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, 31, rue Claude-Vellefaux, à Paris, 10^e.
- Chapat** (Charles), Directeur d'usines à gaz, Président du *Tribunal de Commerce*, Membre de la *Chambre de Commerce du Lot-et-Garonne*, à Marmande (Lot-et-Garonne). M. P.
- Chapelle** (Paul-Alphonse-Jules), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*, 10, rue Nicolas-Charlet, à Paris, 15^e.
- Chapsal** (François-Jules), Ingénieur des Services techniques de l'exploitation de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*, 37, rue Saint-Petersbourg, à Paris, 9^e.
- Chardin** (André), 38, rue Saint-Sulpice, à Paris, 6^e.
- Chardin** (Charles), Ingénieur électricien, 5, rue de Châteaudun, à Paris, 9^e.
- Charles** (Victorin-Jean-Marie-Oscar), Directeur de l'*Exploitation des Tramways de Moutiers à Brides-les-Bains*, à Moutiers (Savoie).
- Charlot** (Étienne), Ingénieur, Directeur de la *Station centrale d'Électricité de Dijon*, 24, rue Saint-Philibert, à Dijon (Côte-d'Or).
- Charpentier** (Henri), Ingénieur de 1^{re} classe de la Marine, à l'Arsenal, à Brest (Finistère).
- Charpentier** (Paul), Ingénieur électricien, 9, boulevard Carnot, à Belfort (Territoire de Belfort).
- Chassériaud** (René-Paul), Ingénieur, Secrétaire de la *Lumière électrique*, 15, rue de Médecis, à Paris, 6^e.
- Chassevent** (Henry-Marie-Camille), Ingénieur des Arts et Manufactures, 11, boulevard de Magenta, à Paris, 10^e. M. F.
- Chateau** (Paul-Luc), Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur, Chef de la *Société française d'Éclairage et de Traction électriques de Shanghai*, 4, quai du Jung-King-Pang, à Shanghai (Chine).
- Chaufour** (Eugène), Ingénieur électricien, E. C. P., 134, avenue Wagram, à Paris, 17^e.
- Chaumat** (Henri), Sous-Directeur de l'*École supérieure d'Électricité*, 26, rue Ernest-Renan, à Paris, 15^e.
- Chaussonot** (Henri), Ingénieur-Conseil électricien, Administrateur de la *Compagnie d'Exploitations et de Travaux industriels*, Administrateur de la *Société industrielle de Tarn-et-Garonne*, 11, rue Duperré, à Paris, 9^e.

- Chauvassaignes**, Ingénieur des Postes et des Télégraphes, Château de Miréfleurs, les Martres-de-Veyre (Puy-de-Dôme). M. F. M. P.
- Chauvin** (Raphaël), Ingénieur, Constructeur d'appareils de mesures électriques, 186, rue Championnet, à Paris, 18^e.
- Chedeville** (Edmond), Ingénieur électricien (E. S. E.), 4, rue Alboni, à Paris, 16^e.
- Cheilletz** (Gaston), rue Edme-Guillout, à Paris, 15^e.
- Chelminski** (Louis-Albin de), Ingénieur électricien diplômé de l'*Institut électrotechnique de Saint-Petersbourg* et de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société anonyme russe Siemens et Halske*, 46, quai Anglais, à Saint-Petersbourg (Russie).
- Chemin** (Eugène-Amédée), Ingénieur électricien (E. S. E.), Ingénieur à la *Française électrique*, 12, rue Meynadier, à Paris, 19^e.
- Chêneveau** (Charles), Docteur ès Sciences, Chef de travaux pratiques de Physique à l'*École de Physique et de Chimie*, 229, rue du Faubourg-Saint-Honoré, à Paris, 8^e.
- Cheronnet** (Maurice), Ingénieur des Arts et Manufactures, 164, rue de Courcelles, à Paris, 17^e.
- Chertemps** (Charles), Ingénieur, 73, rue du Faubourg-Poissonnière, à Paris, 9^e.
- Cheurlot** (Pierre), 48, avenue Marceau, à Paris, 8^e.
- Chevalier** (Léon), Capitaine d'Artillerie à l'*École d'application de l'Artillerie et du Génie*, à Fontainebleau (Seine-et-Marne).
- Chevallier** (Charles-Henry), Sous-Directeur du *Laboratoire d'Électricité industrielle* à la Faculté des Sciences de Bordeaux, 8, rue Villedieu, à Bordeaux (Gironde).
- Chevrier** (Louis-Georges), Directeur de l'*Usine centrale du Secteur électrique de la Rive gauche de Paris*, 39, quai d'Issy, à Issy-les-Moulineaux (Seine).
- Chillaz** (J.-L.-M. de), Capitaine d'Artillerie, *Ateliers de construction*, à Tarbes (Hautes-Pyrénées).
- Chireix** (Henry-Constant), 34, rue Guillaume-Tell, à Paris, 17^e.
- Chotard** (Eugène), Ingénieur électricien (A. M. et E. S. E.) au Bureau des études de la *Société industrielle des Téléphones*, 70, rue de Meaux, à Paris, 19^e.
- Choulet** (Louis), Ingénieur de la *Société Périgéenne d'Énergie électrique*, 28, rue Laffargue, à Toulouse (Haute-Garonne).
- Chrétien** (Henri), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Chef du Service d'Astrophysique de l'Observatoire de Nice, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Chrétien** (Paul-Charles), Inspecteur de l'éclairage électrique de la Ville de Paris, 15, rue de Boulainvilliers, à Paris, 16^e.
- Cilenti** (Sabino), Licencié ès Sciences physiques et mathématiques, 24, rue Berthollet, à Paris, 5^e.
- Clamond** (C.), Ingénieur électricien, 15, rue Picot, à Paris, 16^e. M. F.
- Claparède** (Emmanuel), Ingénieur électricien, Directeur-Propriétaire de la *concession d'éclairage électrique de Bédarrides*, à Bédarrides (Vaucluse).
- Claude** (Georges), Ingénieur, 30, rue Boissière, à Paris, 16^e.
- Cleghorn** (John), South View North Common Road, Ealing W. (Angleterre). M. F.
- Clément** (Célestin-Henri), Capitaine du Génie, 24, avenue de Paris, à Versailles (Seine-et-Oise).
- Clerc** (François-Alexandre-Amédée), Ingénieur-Conseil de la *Société des Acières de Paris et Autreau* et de la *Société d'Électrochimie*, 8, rue Cardinet, à Paris, 17^e.
- Clerc** (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef de l'Exploitation du *Secteur Edison*, 8, rue du Faubourg-Montmartre, à Paris, 9^e. M. F.

- Cléry-Melin** (Eugène), Ingénieur à la *Compagnie Centrale de Chemins de fer et de Tramways*, Directeur des Tramways d'Elbeuf, à Elbeuf (Seine-Inférieure).
- Clifton** (Robert-Bellamy), F. R. S., Professor of experimental Philosophy in the University of Oxford, 3, Bardwell road, Banbury road, à Oxford (Angleterre).
M. F. M. P.
- Clin** (Édouard-Émile), Ingénieur aux *Usines du Pied-Selle* (chauffage électrique), à Fumay (Ardennes).
- Closset** (Émile), Ingénieur, 26, rue Saint-Jean, à Bruxelles (Belgique). M. F.
- Cochin** (Jean-Pierre-Denis-Marie), Enseigne de Vaisseau, 53, rue de Babylone, à Paris, 7^e.
- Codry** (Pierre-Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur de la *Maison Becker*, 150, boulevard du Montparnasse, à Paris, 14^e.
- Cohen-Jonathan** (Salomon), Ingénieur électricien, 5, rue de Strasbourg, à Alger (Algérie).
- Colusse** (Edmond-Magloire), Électricien, 21, avenue du Chemin-de-Fer, à Avon (Seine-et-Marne).
- Combemale** (Henri-Jules), Licencié ès Sciences, 94, boulevard Flandrin, à Paris, 16^e.
- Combemale** (Marcel), Licencié ès Sciences, Directeur de la *Société de l'Air Filtré*, 94, boulevard Flandrin, à Paris, 16^e.
- Compagnie centrale d'Éclairage par le Gaz**, 26, rue de Londres, à Paris, 9^e. M. P.
- Compagnie du gaz de Lyon**, 7, rue de Savoie, à Lyon (Rhône).
- Compagnie électrique de la Loire**, 69, rue Miromesnil, à Paris, 8^e.
- Compagnie houillère** (le Directeur de la), à Bessèges (Gard). M. F.
- Compagnie Parisienne de l'Air comprimé**, 54, rue Étienne-Marcel, à Paris, 2^e.
- Comte** (Marcel-Georges-Joseph), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 8 bis, rue de l'Arrivée, à Paris, 15^e.
- Coninck** (Marcel-Raymond de), 18, rue de Grenelle, à Paris, 7^e.
- Constans** (André), 32, avenue du Parc-Montsouris, à Paris, 14^e.
- Constantin** (Louis-Joseph), Directeur de la *Société espagnole d'Électricité Alioth*, Galdo, 2, à Madrid (Espagne).
- Coqblin** (Henri-Jules-Albert), Ingénieur des Constructions civiles, Sous-Chef de Section à la *Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M.*, Le Bouchet, par Saint-Flour (Cantal).
- Coquelet** (Ernest), Ingénieur chez *M. Hamm*, 15, rue de la Banque, à Paris, 2^e.
- Cordier** (Ferdinand), Chef d'escadron d'Artillerie, Chef du Service de l'*Atelier de précision de la Section technique d'Artillerie*, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin, à Paris, 7^e.
- Cordier** (Gabriel), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Administrateur délégué général de la *Société Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 90, rue de la Victoire, à Paris, 9^e.
- Cordin** (Georges), Ingénieur électricien, 10, rue Poulet, à Paris, 18^e.
- Cornabat** (René), Ingénieur électricien aux Ateliers de la Société l'*Éclairage électrique*, 54, rue Lecourbe, à Paris, 15^e.
- Cornet** (J.), Constructeur d'instruments d'optique et d'électricité médicales, 66, rue de Rennes, à Paris, 6^e.
- Cornier** (Edmond), Ingénieur, Représentant de la Maison *Fabius Henrion* dans la région du Nord, 16, rue Neuve-d'Arras, à Douai (Nord).

- Cornillaux** (Alexandre-Victorien), 155, rue de Paris, à Vanves (Seine).
- Cornuault** (André), Ingénieur de la *Compagnie Continentale pour la fabrication des Compteurs*, 2, avenue Alphand, à Paris, 16^e.
- Cornuault** (Émile), ancien Président de la Société des Ingénieurs civils de France, Administrateur-délégué de la *Compagnie du Gaz et de l'Électricité de Marseille*, Président d'honneur du *Syndicat de l'Industrie du gaz en France*, 4, rue Jean-Goujon, à Paris, 8^e.
- Cosmovici** (Alexandre-C.), Ingénieur E. C. P., Ingénieur en chef, Sous-Chef du Service des ateliers et de la traction des *Chemins de fer de l'État roumain*, 10, Strada Melodie, à Bucarest (Roumanie). M. F.
- Cosserat** (François), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef à la *Compagnie des chemins de fer de l'Est*, 36, avenue de l'Observatoire, à Paris, 14^e.
- Cosson** (Gustave-Émile), Chef du Bureau de dessin du Service électrique des *Établissements Grammont*, 1, rue Petit, à Clichy (Seine).
- Costa** (Joseph), Ingén.-Expert, 1, rue Montgrand, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Costiesco** (Matila), Enseigne de vaisseau de la Marine royale roumaine, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'électricité*, Attaché au Ministère de la Guerre, 3, place de l'Épiscopie, à Bucarest (Roumanie).
- Côte** (Eugène-François), Fondateur et Rédacteur en chef de la *Houille blanche*, 24, rue Sully, à Lyon (Rhône).
- Cottard** (Jean-Baptiste), Ingénieur, *Ateliers d'électricité de MM. Schneider et C^e*, à Champagne-sur-Seine (Seine-et-Marne).
- Cottavoz** (Joseph), Directeur de l'*Usine centrale de l'Est-Lumière*, quai de Seine, à Alfortville (Seine).
- Conade** (Maurice), Capitaine d'Artillerie, Membre de la Commission d'études pratiques d'Artillerie de côte, à Toulon (Var).
- Couillard** (Léon), Ingénieur électricien, 5, rue du Parc, à Saint-Mandé (Seine).
- Coulon** (Rodolphe de), Chef d'exploitation des *Établissements Aubert Grenier*, Petit-Bernard, à Dijon (Côte-d'Or).
- Coulon** (R. de), Ingénieur électricien, Fabrica Uruguay-Concordia (Entre-Rios) (République Argentine). M. F. M. P.
- Courbier** (J.), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Licencié en droit, Ingénieur-Conseil, 40, quai Gailleton, à Lyon (Rhône).
- Courjon** (D^r A.), à Meyzieu (Isère). M. F.
- Courquin** (abbé Art.-J.), Professeur de filature à l'*École industrielle*, à Tourcoing (Nord). M. F.
- Courtet** (abbé Léopold-Marie), Aumônier à Chaudebeuf, par Saint-Hilaire-des-Landes (Ille-et-Vilaine). M. F.
- Courtois** (Gabriel), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'usine des constructions électriques de la *Société industrielle des Téléphones*, 32, rue Théophile-Gautier, à Paris, 16^e.
- Cousin** (Émile-Félix), Ingénieur à la *Compagnie d'Éclairage électrique du Secteur des Champs-Élysées*, 75, avenue Wagram, à Paris, 17^e.
- Coutelier** (Louis-Alexis), ancien Élève de l'*École pratique d'Électricité industrielle*, 72, boulevard de Bercy, à Paris, 12^e.
- Couteux** (Léon), 57, rue des Archives, à Paris, 3^e. M. F.

- Couvreux** (Abel), 78, rue d'Anjou, à Paris, 8^e.
- Coze** (André), Directeur de la *Société d'Éclairage par le gaz de la Ville de Reims*. Administrateur de la *Société des usines à gaz du Nord et de l'Est*, Vice-Président du *Syndicat professionnel de l'Industrie du gaz*, 10, rue du Grenier-à-Sel, à Reims (Marne).
- Creighton** (Elmer E.-F.), Electrical Engineer, Engineer of Experimental Dept. Stanley Elec. M. F. G. Co, Union University, Schenectady N. Y. (États-Unis).
- Croiset** (A.-C.-H.), 13, rue Cassette, à Paris, 6^e.
- Crovisier** (Charles-Gaston), Ingénieur aux Domaines de l'État, à Korachieh (Égypte).
- Cruchon** (Louis), Enseigne de vaisseau, à bord du *Bourrasque*, à Bizerte (Tunisie).
- Cuau** (Charles-Ernest), Ingénieur civil des Mines, 17, boulevard Pasteur, à Paris, 15^e.
- Curchod** (Adrien), Ingénieur du Bureau technique de l'Électricité 8, rue de la Pépinière, à Paris, 8^e.
- Da** (Joseph-Marie-Marcel), ancien Élève de l'École polytechnique, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Attaché à la direction de la *Société des Forges de Requinies*, 80, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e.
- Dachary** (Charles-Dominique), Ingénieur électricien, Licencié ès Sciences, Ingénieur à la *Gare de Mont-de-Marsan*, Mont-de-Marsan (Landes).
- Daguerre** (Hector-Louis), Directeur de la *Société Nord-Lumière*, 12, rue de Port, à Clichy (Seine).
- Dain** (Henri), Ingénieur chimiste I. C. A., Ingénieur de la *Société d'Électrochimie*, à Martigné-Ville (Suisse).
- Dalémont** (Julien), 122, Sherbrooke W, à Montréal (Canada).
- Damien** (B.-C.), Professeur à la *Faculté des Sciences de Lille*, à Lille (Nord).
- Damoiseau** (Jean-Baptiste-Gaston), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la *Société anonyme de Locomotion électrique*, 23, rue du Conseil, à Asnières (Seine).
- Daniell** (Francis-W.-B.), M. I. E. E., care of M. M. Hickie, Borman and Co, 14, Waterloo Place, Pall Mall, à Londres S. W. (Angleterre). M. F. M. P.
- Danis** (Jean), Ingénieur électricien, 92, boulevard Barbès, à Paris, 18^e.
- Danne** (Jacques), Préparateur de Physique à la *Faculté des Sciences de Paris*. Directeur du journal de Physique *Le Radium*, 9, rue du Val-de-Grâce, à Paris, 5^e.
- Darbois** (Jean-Marie-Hippolyte), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Delfy, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Darcq** (E.), Directeur honoraire du Ministère du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, 98, rue de Rennes, à Paris, 6^e. M. F.
- Daresté de la Chavanne** (Edmond-Charles-Cléopas), de la *Maison Rosier fils et Daresté*, fabrication d'appareils pour l'éclairage électrique, installations, 84, boulevard de Courcelles, à Paris, 17^e.
- Daries** (Aristide), Ingénieur électricien, 32, rue Montpensier, à Pau (Basses-Pyrénées). M. F.
- Darlou de Roissy**, Ingénieur, 94, rue Jouffroy, à Paris, 17^e.
- Darnal** (François), Ingénieur, *Société Alioth*, 210, boulevard Saint-Germain, à Paris, 7^e.
- Darras** (Alphonse), Ingénieur-Constructeur électricien, 123, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5^e.

- Darrieus** (Pierre-Joseph-Gabriel-Georges), Capitaine de frégate, 72 bis, rue de la Tour, à Paris, 16^e.
- David** (Charles-Narcisse), Ingénieur, Chef de Travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 69, avenue de Ségur, à Paris, 15^e.
- David** (Louis-Étienne-F.), Constructeur mécanicien, *Spécialité de matériel pour laiteries et de modèles pour fonderie*, 9, rue Meynadier, à Paris, 19^e.
- David** (Paul-Marius), Ingénieur de plateforme à la *Compagnie Électro-Mécanique*, 191, rue Lafayette, à Paris, 10^e.
- David** (Raoul-Charles), Chef d'escadron au 15^e régiment d'Artillerie, 35, rue du Clocher-Saint-Pierre, à Douai (Nord).
- Dawant** (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, 39, rue de Constantinople, à Paris, 8^e.
- Debeauve** (Paul), ancien Chef du Bureau de mesures de la *Maison Breguet*, 2, rue Ballu, à Paris, 9^e. M. F.
- Debionne** (Émile), Ingénieur des Arts et Manufactures, Inspecteur chef du Bureau des *Services électriques au Chemin de fer du Nord*, 19, rue de la Chapelle, à Paris, 18^e.
- Debout** (Achille), Ingénieur, 25, boulevard Carabacel, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Debray** (Albert), Ingénieur des Arts et Manufactures, Inspecteur du matériel et de la traction de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*, 2, avenue des Moulineaux, à Billancourt (Seine).
- Debray** (Paul), ancien Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur de la *Compagnie parisienne de l'Air comprimé*, 41, avenue Kléber, à Paris, 16^e.
- Debrunner** (Henri), Ingénieur électricien, 16, rue Fléchier, au Havre (Seine-Inférieure).
- Dcaux** (Léopold-René), Directeur des *Ateliers Gaumont*, 2, avenue de l'Orangerie, Le Perreux (Seine).
- Decencièrre-Ferrandière** (Louis-Henri), Ingénieur de la Marine, 24, rue de la Bucaille, à Cherbourg (Manche).
- Dechandol** (Pierre-Georges), Ingénieur électricien, 8, rue Edme-Guillout, à Paris, 15^e.
- Décombe**, Docteur ès Sciences, 13, rue Gazan, à Paris, 14^e.
- Dehenne** (Georges), Ingénieur (E. C. P.), Ingénieur en chef aux *Établissements Harlé et C^{ie}*, 182, rue du Faubourg-Saint-Honoré, à Paris, 8^e. M. F.
- Dejust** (Jules), Professeur à l'*École centrale*, Ingénieur de la Ville de Paris, 2, rue Michel-Chasles, à Paris, 12^e.
- Delafon** (Philippe), Ingénieur, 128, rue de la Convention, à Paris, 15^e.
- Delage**, Capitaine de frégate, ancien Commandant de la 1^{re} flottille des sous-marins, à Toulon (Var).
- Delaporte** (Paul-Émile), Ingénieur-conseil, Administrateur-délégué du *Comptoir général d'Électricité et d'Applications industrielles*, 5, rue Ballu, à Paris, 9^e.
- Delas** (François-Xavier-Joseph-Albert), Ingénieur à la *Société Westinghouse*, 15, rue Christiani, à Paris, 18^e.
- Delasalle** (André-Paul-Louis), ancien Élève de l'*École de Physique et de Chimie*, Ingénieur de la *Compagnie française et de la Société des Ateliers Thomson-Houston*, 116, rue David-Johnston, à Bordeaux (Gironde).
- Delaunay** (Ernest-Baptiste), Galvanoplaste, 12, rue Saint-Gilles, à Paris, 3^e; domicile, 39, boulevard Beaumarchais, à Paris, 3^e.
- Delaunay-Belleville**, Ingénieur-Constructeur, Membre de la *Commission centrale des Machines à vapeur*, 17, boulevard Richard-Wallace, à Neuilly-sur-Seine. M. F.

- Delenze** (Abel-É.), Ingénieur à la *Compagnie des Mines, Fonderies et Forges d'Alais*, à Tamaris (Gard).
- Delgay** (Louis), Ingénieur civil, Directeur des *Stations centrales d'Électricité d'Argelès-Gazost et Heid fils, frères et Cie*, à Caunterets, 31, rue Porte-Neuve, à Pau (Basses-Pyrénées).
- Delhumeau**, Sous-Inspecteur à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*, 15, rue de la Fédération, à Paris, 15°.
- Deligny** (Jules-Louis), Ingénieur constructeur électricien, 87, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5°.
- Delon** (Jules), Ingénieur à la *Société française des câbles électriques*, 11, chemin du Pré-Gaudry, à Lyon (Rhône).
- Delorme** (Abel), Ingénieur de la *Compania general de Electricidad de Granada*, à Granada (Espagne).
- Delorme** (Paul), Administrateur délégué de la *Compagnie des Accumulateurs Union*, 111, rue de Courcelles, à Paris, 17°.
- Delpench** (Camilie), Ingénieur à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*, 53, rue de Maubeuge, à Paris, 9°.
- Del Viniotti** (Jean-Marie), Ingénieur électricien, 43, avenue Victor-Hugo, à Paris, 16°.
- Démarchez** (Georges-Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur aux Usines *Michelin et Cie*, rue de Metz, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- Démichel** (Émile), 38, rue de Sévigné, à Paris, 3°.
- Dennis** (Félix), 2, rue du Champ-de-Foire, au Havre (Seine-Inférieure). M. F.
- Deplanque** (A.), Ingénieur civil, Directeur d'Usines à gaz, 11, rue Windsor, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Déramat** (Jean), Ingénieur à la *Société Gramme*, 89, rue Secrétan, Paris, 19°.
- Descamps** (Georges), Ingénieur-Directeur de la *Société anonyme d'éclairage par le Gaz et l'Électricité*, 154, rue du Faubourg-Saint-Denis, à Paris, 10°.
- Desfontaines** (Gontran-Alexandre), Capitaine d'Artillerie, Commission d'études pratiques d'Artillerie de côte, à Toulon (Var).
- Desforgues** (Eugène), Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, 9, cours de Gourgue, à Bordeaux.
- Deslandras** (Henri), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 34, rue Hamelin, à Paris, 16°.
- Desmarets** (Jules-Eugène-Pierre), Ingénieur principal de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 1, rue Cavalotti, à Paris, 18°.
- Desnos** (Henri), 15, boulevard Saint-Germain, à Paris, 5°.
- Desombre** (Paul-Édouard-Gaspard), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur-délégué de la *Compagnie électromécanique*, 8, rue de Florence, à Paris, 8°.
- Desroziers** (E.), Ingénieur électricien, ancien Élève breveté de l'*École supérieure des Mines de Paris*, Expert près les Tribunaux de la Seine, Membre du Comité de la *Société des Ingénieurs civils de France*, 10, avenue Frochot, à Paris, 9°. M. F.
- Desvignes** (Jean-Émile), Ingénieur à la *Compagnie des Chemins de fer à voie étroite de Saint-Étienne, Firminy, Rive-de-Gier et extensions*, 7, place Badouillère, à Saint-Étienne (Loire).
- Detraux** (Louis), Directeur de la *Compagnie méridionale d'éclairage et de Force*, 77, rue Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Détroyat** (J.-M.-T.-A.), Ingénieur civil, 109, boulevard Haussmann, à Paris, 9°.
- Deutsch** (Émile), 54, avenue d'Iéna, à Paris, 16°. M. F.

- Devaux** (Émile), Ingénieur électricien, Chef du Service électrique de la *Compagnie des Cinématographes T. Pathé*, 27, rue de la Chapelle, à Paris, 18^e.
- Devaux-Charbonnel** (Xavier), Ingénieur des Télégraphes, 286, boulevard Raspail, à Paris, 14^e.
- Diemand** (Joseph), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 30, rue Hamelin, à Paris, 16^e.
- Diény** (Paul), Ingénieur-Conseil, 13, Park Row, à New-York (U. S. A.).
- Dierman** (William), Ingénieur, 15, rue du Bailli, à Bruxelles (Belgique).
- Dinoire** (E.), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité* et de l'École supérieure des Mines, Ingénieur des *Fours à coke et Usines des Mines de Lens*, Pont-à-Vendin (Pas-de-Calais). M. P.
- Direction générale des Postes et Télégraphes de Hongrie**, Albrecht ut n^o 3-5 à Budapest (Autriche-Hongrie).
- Dive** (Paul), Ingénieur à la *Société de la Vieille-Montagne*, à Viviez (Aveyron).
- Doat** (Fernand), Enseigne de vaisseau, à bord de *La Lance*, à Lorient (Morbihan).
- Dobkévitch** (Gaëtan), Ingénieur, Chef du service électrique de la *Société française d'incandescence par le gaz*, 81, rue de l'Assomption, à Paris, 16^e.
- Doignon** (Louis), Ingénieur-Constructeur, 11, rue Hoche, à Malakoff (Seine), domicile : 16, rue Stanislas, à Paris, 6^e.
- Domange** (Albert), Fabricant de courroies pour machines, 74, boulevard Voltaire, à Paris, 11^e.
- Dominé** (Antoine), Ingénieur électricien de la *Compagnie des Mines de Dourges*, à Hénin-Liétard (Pas-de-Calais).
- Dongier** (Raphaël-Roger), 99, Grande-Rue, à Bourg-la-Reine (Seine).
- Dorido** (Ernest), Capitaine du Génie, 45, rue de Vouillé, à Paris, 15^e.
- Dosme** (Fernand de), 11, rue d'Enghien, à Paris, 10^e.
- Dotta** (Andrea), Ingénieur électricien à la *Société Ilva de Gênes*, 2, via del Pozzetto, à Savone (Italie).
- Douilhet** (Albert), Ingénieur des Arts et Manufactures, 16, avenue Carnot, à Caudéran (Gironde).
- Doussot** (Antonin-Edmond-Eugène), 6, rue Lalo, à Paris, 16^e.
- Doyer** (H.), Ingénieur électricien, Chef de la *Maison en commandite H. Doyer et C^{ie}*, 112, Claes de Vriese Laan, à Rotterdam (Pays-Bas).
- Dreux** (Alexandre-François), Administrateur-Directeur de la *Société des Aciéries de Longwy*, à Mont-Saint-Martin (Meurthe-et-Moselle).
- Dreyfus** (Georges), Directeur de la *Société lilloise d'éclairage électrique*, 87, rue de la Barre, à Lille (Nord).
- Dreyfus** (Jules), Directeur commercial de la *Société électrométallurgique française de Froges*, 30, rue du Rocher, à Paris, 8^e.
- Drin** (Léon-François-Victor), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Directeur de la *Westinghouse Cooper Hewitt C^o*, 180, boul. de Strasbourg, à Billancourt (Seine).
- Drouët** (Louis-Jules), Ingénieur des Télégraphes, 63, rue Vaneau, à Paris, 7^e.
- Drouin** (Félix-Honoré), Ingénieur en chef de la *Compagnie générale d'Électricité*, 1 bis, avenue de Longchamp, à Boulogne-sur-Seine (Seine).
- Dubois** (Édouard), Ingénieur à la *Compagnie pour la fabrication des Compteurs*, 166, avenue Parmentier, à Paris, 10^e.

- Dubois** (Robert), Ingénieur du matériel à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*, 6, rue Gounod, à Paris, 17^e.
- Dubournay** (Jean-Adolphe), Directeur des *Usines électriques de Terrasson, Saint-Céré et Mauriac*, à Terrasson (Dordogne).
- Dubs** (Hans), Ingénieur, Directeur du réseau de Marseille de la *Compagnie générale française des Tramways*, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Ducastel-Blandin** (Georges), Négociant, Installateur électricien, ancien Président du *Syndicat professionnel des Industries électriques du Nord de la France*, 61, rue Nationale, à Lille (Nord).
- Ducellier** (Léon), Ingénieur, installations électromécaniques, 6, rue de l'Hôtel-de-Ville, à La Rochelle (Charente-Inférieure).
- Duchesne** (Eugène-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 21, rue du Général-Foy, à Paris, 8^e.
- Duchez** (Florian-Jean), Ingénieur électricien, 30, rue de Cormeilles, à Levallois-Perret (Seine).
- Ducouso** (Th.), Ingénieur, à Loubatery, par Port-Sainte-Marie (Lot-et-Garonne).
M. F.
- Ducretet** (E.), Constructeur électricien, 75, rue Claude-Bernard, à Paris, 5^e. M. F.
- Ducretet** (F.), Constructeur d'instruments de précision, 75, rue Claude-Bernard, à Paris, 5^e.
- Duez** (G.), Ingénieur, 95, rue Ampère, à Paris, 17^e.
- Duflon** (Louis), Ingénieur, à Villeneuve, canton de Vaud (Suisse).
- Dujardin** (Amédée), 28, rue Vavin, à Paris, 6^e.
- Dujardin** (P.-J.-R.), Héliographe, 28, rue Vavin, à Paris, 6^e. M. F.
- Dumartin** (Louis-Charles-Horace), Administrateur délégué de la *Société d'éclairage électrique du Boulonnais*, Ingénieur-Conseil de la *Française électrique*, 95, rue Jouffroy, à Paris, 17^e.
- Dumon** (Jean), Capitaine du Génie, Commandant l'École du 6^e régiment, 92, rue Fulton, à Angers (Maine-et-Loire).
- Dumont** (Eugène), Docteur ès Sciences, Ingénieur. Fondé de pouvoirs de la *Société française des câbles électriques (Système Berthoud, Borel et Cie)*, 11, rue du Pré-Gaudry, à Lyon (Rhône).
- Dumont** (Georges), ancien Président de la *Société des Ingénieurs civils de France*, Président de l'*Association des Industriels de France contre les Accidents du travail*, 23 bis, avenue Niel, à Paris, 17^e. M. F.
- Du Mont** (Alexis-Victor-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'Agence de la *Compagnie Électro-mécanique, Matériel électrique Brown, Boveri et Cie. Turbine à vapeur Parsons, Turbo-groupes électrogènes Brown-Boveri-Parsons. Usine au Bourget (Seine)*, 68, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Lyon (Rhône).
- Dumoulin** (Georges-Gustave-Gabriel), Licencié ès Sciences, Ingénieur du Service électrique aux *Mines d'Anzin*, à Anzin (Nord).
- Dunion** (Louis), Inspecteur des Télégraphes, 34, rue Lacretelle, à Mâcon (Saône-et-Loire). M. F.
- Duperron** (Georges), Ingénieur civil, attaché au Laboratoire électrotechnique du *Chemins de fer du Nord*, 97, rue du Château, à Asnières (Seine).
- Dupont** (Georges), Banquier, 52, boulevard Haussmann, à Paris, 9^e.

- Dupont-Buèche** (Marc). Ingénieur a la *Société française Oerlikon*, 9, rue Pillet-Will, à Paris, 9^e.
- Dupuy** (Paul). Ingénieur-Conseil, 41, rue Taitbout, à Paris, 9^e.
- Duquenoy** (Gustave-Louis), 12, rue des Wetz, à Douai (Nord). M. F.
- Durand** (Albert), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Chef de Travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 52, boulevard Saint-Jacques, à Paris, 14^e.
- Durand** (Edmond-Jean-Louis), Ingénieur électricien, rue Neuve, à Saint-Mammès (Seine-et-Marne).
- Durand** (François-Valentin-Pierre-Sauveur), Ingénieur de la *Société d'Électricité de Paris*, 40, avenue du Chemin-de-Fer, à Épinay-sur-Seine (Seine).
- Durangel** (George), Secrétaire général de la *Société du Sud électrique*, 14, rue Fontaine, à Paris, 9^e.
- Durnerin** (Henri-Jean-Marie-Paul), Capitaine d'Artillerie coloniale, 130, rue de Rivoli, à Paris, 1^{er}, et à la Direction du Génie de Toulon (Var). M. P.
- Durupt** (Charles-Ulderie), Ingénieur, Directeur technique de la *Maison P. Lebœuf*, 8, place de la Mairie, à Saint-Mandé (Seine).
- Dusaughey** (Ernest), Ingénieur civil des Mines, Directeur général du *Sud électrique*, 89, rue Joseph-Vernet, à Avignon (Vaucluse).
- Dussaix** (Henri). Directeur des *Chemins de fer de l'Indo-Chine*, à Hanoï (Tonkin) (Indo-Chine).
- Duval** (Charles-Léon), Ingénieur, 143, rue de Rome, à Paris, 17^e.
- Dvorak** (Vincent), Professeur de l'Université croate, à Agram (Autriche).
- Echeverria** (Ruberto), Ingénieur civil, attaché à la *Légation du Chili en Italie*, 14, rue de Tilsitt, Paris, 8^e.
- Éclancher** (J.-V.), Sapeur télégraphiste, 5^e compagnie, au Mont-Valérien (Seine).
- École spéciale des Mines**, 5, rios Rosas, à Madrid (Espagne).
- Edwards** (Raphaël), Ingénieur civil et électricien, Compania 2.473, à Santiago (Chili).
- Egli** (Arthur), Industriel, à Paliseuil (Belgique).
- Ehrmann** (Paul), 27, rue Cassette, à Paris, 6^e.
- Eiffel** (Alexandre-Gustave). Ingénieur, 1, rue Rabelais, à Paris, 8^e.
- Ellison** (Georges), Ingénieur électricien, Flint Green House Acocks Green, near Birmingham (Angleterre).
- Ellnin** (Henri). ancien Élève de l'*École Polytechnique*. Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*. Ingénieur-Conseil de l'*Office de Brevets d'inventions Marillier et Robelet*, 114, boulevard Magenta, à Paris, 10^e.
- Emery** (Louis), 59, rue Bonaparte, à Paris, 6^e. M. F.
- Esbran** (Lucien-Fernand), Ingénieur à la *Société anonyme Westinghouse*, 7, rue Ancel, au Havre (Seine-Inférieure).
- Escalante** (Dr José), Professeur à l'*Institut de Santander*, à Santander (Espagne).
- Eschwège** (Paul), Ingénieur civil des Mines, Directeur de la *Société anonyme d'éclairage et de force par l'Électricité à Paris*, 26, rue Laffitte, à Paris, 9^e.
- Estrade** (Joachim), Directeur des *Sociétés méridionales d'Électricité et de Transport de force*, à Carcassonne (Aude).
- Etablissement central de Télégraphie militaire**, 51 bis, boulevard de Latour-Maubourg, à Paris, 7^e.

- Everlin** (Maurice), Ingénieur aux *Mines de Liévin*, 88, rue Jean-Baptiste-Defunz, à Liévin (Pas-de-Calais).
- Eytner** (Thaddée-Joseph), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Professeur à l'*École spéciale Mécanico-Technique*, à Varsovie, rue Kempna, 2, à Varsovie (Pologne russe).
- Fabre** (Henri), Ingénieur électricien, 45, rue Breteuil, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Fabry** (Charles), Professeur à la *Faculté des Sciences de Marseille*, 1, rue Clapier à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Fabry** (Jules), Ingénieur à la Société *La Française électrique*, 13, rue du Val-de-Grâce, à Paris, 5^e.
- Fahie** (J.-J.), 4, avenue Auber, à Nice (Alpes-Maritimes). M. F. M. P.
- Faramond de Lafajole** (Roger-Pierre-Joseph de), Ingénieur-Conseil mécanicien E. C. P. *Spécialité de moteurs à pétrole lourd (système Priestmann) pour l'Industrie, l'Agriculture, la Navigation*, 54, avenue de Breteuil, à Paris, 7^e.
- Fargues** (J.), Membre de la *Société asiatique de Paris*, M. S. T. E., etc., 81, rue de Paris, à Montmorency (Seine-et-Oise). M. F. M. P.
- Faria** (Oswaldo de), Ingénieur électricien, 14, rue Théodule Ribot, à Paris, 17^e.
- Farlet** (Pierre), Ingénieur à la *Société Sud-Lumière*, 144, route d'Orléans, à Bourgl-la-Reine (Seine).
- Farman** (Dick), Ingénieur électricien, Mécanicien, 28, rue Marbeau, à Paris, 17^e. M. P.
- Fasse** (J.-E.), 12, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Lyon (Rhône). M. F.
- Fauchon-Villeplée** (André), Directeur des branches isolantes, appareillage et construction électriques de la *Compagnie générale d'Électricité*, 3, rue Édouard-Detaille, à Paris, 17^e.
- Fauconnier**, Ingénieur, Administrateur délégué de la *Société orléanaise pour l'éclairage au Gaz et à l'Électricité*, 2, rue Verte, à Orléans (Loiret). M. F.
- Faugier** (Prosper), Capitaine au 58^e régiment d'Infanterie, à Arles (Bouches-du-Rhône). M. F.
- Faure** (Jean), Directeur des *Tramways électriques de Lille et sa banlieue*, Administrateur des *Ateliers de constructions électriques du Nord et de l'Est et des Tramways électriques d'Astrakan*, 304, rue Nationale, à Lille (Nord).
- Faure Beaulieu** (Jacques), Ingénieur des Arts et Manufactures, Associé de la *Maison Garnier et Faure Beaulieu*, anciennement *Lecouteux et Garnier*, 54, avenue de la République, à Paris, 11^e.
- Faure-Miller** (Dr Roland), ancien Interne des hôpitaux de Paris, Lauréat de la Faculté de Médecine de Paris, 8, rue de Miromesnil, à Paris, 8^e. M. F.
- Fave** (Alexandre), Ingénieur de la *Station d'énergie électrique des boulevards Bordeaux-Saint-Augustin*, rue du Commandant-Marchand, à Bordeaux (Gironde).
- Fay** (Philippe), Ingénieur, Secrétaire général de l'*Entreprise générale des travaux du Chemin de fer des Alpes bernoises (Berne-Lötschberg-Simplon)*, 6, rue Pillaud, à Asnières (Seine).
- Fayard** (Prosper), ancien Magistrat, 35, avenue Denfert-Rochereau, à Saint-Étienne (Loire). M. F.
- Fayot** (Louis), Directeur des ateliers de la *Maison Breguet*, boulevard Vauban, à Douai (Nord).

- Féder** (Émile-Louis), Ingénieur aux *Mines de Liévin*, à Liévin (Pas-de-Calais).
- Fédoroff** (Michel), Ingénieur des Mines, Ingénieur électricien, Professeur à l'*École supérieure des Mines*, à Ekaterinoslaw (Russie).
- Félix** (C.), Directeur de la *Raffinerie de Sermaize*, à Sermaize (Marne). M. F.
- Felten et Guillaume**, Ingénieurs-Constructeurs électriciens, Carlswerk, à Mulheim-sur-Rhin (Allemagne). M. F.
- Férat** (Eugène), Ingénieur civil, 1, place de l'Édit-de-Nantes, à Nantes (L^r-Inf^r).
- Ferré** (Ferdinand-Louis-Ernest), Chef d'usine au *Sud électrique*, villa des Lilas, à Saint-Véron, Avignon (Vaucluse).
- Ferrère** (Edmond), Administrateur-Directeur de l'*Hydro-électrique de la Dronne*, à Bonnes, par Aubeterre-sur-Drôme (Charente).
- Ferrié** (Gustave-Auguste), Chef de Bataillon du Génie, *Établissement central de la Télégraphie militaire*, 23, boulevard du Montparnasse, à Paris. 6^r.
- Ferrier** (Paul), Ingénieur à la *Société électrochimique de la Romanche*, 6, place Saint-Sernière, à Toulouse (Haute-Garonne).
- Ferron** (Louis-Amilcar), Ingénieur de la *Société pyrénéenne du Silico-manganèse*, Usine électrométallurgique de Villelongue (Hautes-Pyrénées).
- Fétaz** (Joseph), 10, rue Etrechet, à Bordeaux (Gironde).
- Fiévé** (Georges), Ingénieur électricien, Directeur du *Bureau technique des Installations électriques et gazières*, 34, rue de la Bastille, à Nantes (Loire-Inférieure).
- Filleul-Brohy** (Georges), Directeur-Associé de la *Maison Houry et Cie*, 60, rue de Provence, à Paris, 9^r.
- Playelle** (Gustave), Propriétaire, Correspondant de la *Revue pratique de l'Électricité*, à Valenciennes (Nord).
- Fleury** (Charles-Modéric), Ingénieur des Services électriques de la *Compagnie générale d'Électricité*, Station de Nancy, 34, rue des Jardiniers, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Fleury** (Pierre-Marie-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Compagnie du Gaz*, à Agen (Lot-et-Garonne).
- Foiret** (Anatole), Administrateur de la *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, 31, rue Claude-Vellefaux, à Paris, 10^r.
- Fontaine** (Eugène-Paul), Président de la *Société d'assurances mutuelles « La Participation »*, Secrétaire général du *Syndicat professionnel des Usines d'Électricité*, 27, rue Tronchet, à Paris, 8^r.
- Fontaine** (G.), Instruments de Physique et de Chimie, 18, rue Monsieur-le-Prince, à Paris, 6^r.
- Fontaine** (Hippolyte), Ingénieur électricien, 58, rue Notre-Dame-des-Champs, à Paris, 6^r. M. D. M. P.
- Forstall** (Georges), Directeur de la *Société ardennaise d'Énergie électrique*, 3, place de la Gare, à Charleville (Ardennes).
- Foulhouze** (Amable), Ingénieur électricien (I. E. G.) à la *Société anonyme Westinghouse*, 38 bis, rue Casimir-Perier, au Havre (Seine-Inférieure).
- Foureault** (Alfred), Ingénieur électricien, 8, rue Rottembourg, à Paris, 12^r.
- Fournaraki** (Léon), Ingénieur dirigeant la *Succursale de l'Accumulateuren Fabrik AG* (système Tudor de Berlin en Roumanie), 27, boulevard Élisabeth, à Bucarest (Roumanie).

- Fournier** (Georges), Ingénieur en chef des installations de tramways de la *Compagnie française des procédés Thomson-Houston*, 32, rue Desrenaudes, à Paris, 17^e.
- Fournier** (Henri-Victor), Ingénieur en chef de la *Compagnie générale madrilène d'Électricité*, Espoz y Mina, 6 D^o, à Madrid (Espagne).
- Fourrié** (Félix), Attaché à la *Compagnie des Chemins de fer du Midi*, 5 bis, rue Mora, à Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise).
- Foveau de Courmelles** (D^r), Directeur de l'*Année électrique*, Lauréat de l'Académie de Médecine, Licencié ès Sciences physiques, ès Sciences naturelles, en Droit, Professeur libre d'*Électrothérapie et Radiographie*, 26, rue de Châteaudun, à Paris, 9^e.
- Foy** (Fernand), Ingénieur, Fabricant d'articles en carton comprimé et laqué, 3, rue des Noyers, à Gentilly (Seine).
- Fragier** (Alphonse-Jean), Ingénieur, Directeur des *Établissements de la Compagnie des Compteurs*, 18, boulevard de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- France** (Étienne de), Ingénieur civil des Mines, Secrétaire général de la Société l'*Éclairage électrique*, 6, rue de Solferino, à Paris, 7^e.
- Franchimont** (Henri-Alexandre), Ingénieur électricien, 26, rue de l'Aqueduc, à Paris, 10^e.
- Franck** (Charles-Henri), Ingénieur, Directeur du Service électrique de la *Compagnie des Mines de Béthune*, à Bully-les-Mines (Pas-de-Calais).
- Freundler** (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, Service de l'Électricité de *MM. Schneider et Cie*, 42, rue d'Anjou, à Paris, 8^e.
- Fric** (René-Jean-Louis), à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- Frison** fils (Émile), Applications industrielles de l'électricité, à Jonchery (Haute-Marne). M. F.
- Fritz** (Hans-Elmar), Ingénieur, Directeur aux *Bergmann Elektricitäts Werke*, 16, rue Oberlin, à Strasbourg (Allemagne).
- Fröhlich** (Raoul), Ingénieur, 85 bis, rue du Ranelagh, à Paris, 16^e.
- Frouart** (Alexandre-Joseph-Marie), Chef d'usine *Société Énergie électrique du Sud-Ouest*, à Périgueux (Dordogne).
- Frouin** (André), Directeur des Services électriques de la région de Paris, 6, rue Bara, à Paris, 6^e. M. F.
- Gaiffe** (Georges), Ingénieur électricien, 40, rue Saint-André-des-Arts, à Paris, 6^e. M. F.
- Gaillard** (Henri), Ingénieur électricien, à Orange (Vaucluse).
- Gaillard** (Joseph-M.-L.), Ingénieur, villa La Retraite, à Saint-Genis-Laval (Rhône). M. P.
- Gajan** (Eugène-Henri-Louis), Enseigne de vaisseau, Professeur du *Centre d'Instruction de Télégraphie sans fil*, Défense fixe, à Brest (Finistère).
- Galibert** (Ernest-Marius-Samuel), Licencié ès Sciences de la Faculté de Paris, Laboratoire de recherches, *Maison Lacarrière*, 54, rue des Saints-Pères, à Paris, 6^e.
- Gall** (Henry), Administrateur délégué de la *Société d'Électrochimie*, 4, rue Albert-Joly, à Versailles (Seine-et-Oise).
- Gallay** (Émile-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, *Société du Gaz et d'Électricité de Saint-Junien* (Haute-Vienne), 35, rue Brunel, à Paris, 17^e.
- Gallet** (Octave-Adolphe), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'*Usine Thomson-Houston de Lesquin-lez-Lille*, 2, rue Sainte-Anne, à Lille (Nord).

- Gallice** (Georges), ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, rue Basse-de-la-Terrasse, à Bellevue (Seine-et-Oise). M. F.
- Gallini** (Aristide), Capitaine de vaisseau, en retraite, à Granville (Manche).
- Galliot** (F.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 45, rue Saint-Philibert, Dijon (Côte-d'Or).
- Gamard** (Gustave), Professeur honoraire à l'Association philotechnique, 22, rue de Rivoli, à Paris, 4^e.
- Garcia de la Mata** (Juan), Lieutenant de vaisseau de la Marine royale espagnole. Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 17, rue Murguia, à Cadix (Espagne).
- Garcin** (Julien-François-William), Ingénieur E.S.E., Licencié ès Sciences, de la Société Bergerat et Garcin, Concessionnaires de MM. Sir W.-G. Armstrong Whitworth and Co, 4, rue du Rocher, à Paris, 8^e.
- Garfield** (Alexander-Stanley), Ingénieur en chef de la Compagnie française Thomson-Houston. Ingénieur-Conseil de la General Electric Company de New-York et de la Compagnie Thomson-Houston de la Méditerranée, 67, avenue de Malakoff, à Paris, 16^e.
- Gariel** (C.-M.), Professeur à la Faculté de Médecine. Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 6, rue Edouard-Detaille, à Paris, 17^e. M. F.
- Gariel** (Maurice-Marie-Joseph), 2, rue de la Paix, à Grenoble (Isère).
- Garnier** (Paul), Horloger mécanicien, Fabricant d'horlogerie électrique, 9, rue Beudant, à Paris, 17^e. M. F.
- Garry** (Étienne-Louis), Ingénieur de la Maison Breguet, 27, rue du Sergent-Blandan, à Lyon (Rhône).
- Gasnier** (Paul-Jules-Marin), Chef des travaux pratiques d'électricité, chargé de Conférences, à l'École de Physique et de Chimie industrielles de Paris, 20, rue Hallé, à Paris, 14^e.
- Gasquet** (Roger), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, rue de Londres, à Paris, 9^e. M. P.
- Gateau** (Raymond), 14, rue Saint-Lazare, à Saint-Ouen-l'Aumône (Seine-et-Oise).
- Gatehouse** (T.-E.), J. R. S. E., A. M. I. C. E.; M. I. M. E., M. I. E. E.; *Editor Electrical Review*, 4, Ludgate hill, London E. C. (Angleterre). M. F.
- Gaucharaud** (Alfred-Antoine), Ingénieur à la Maison Hillairet Huguet, 12, rue du Château-Landon, à Paris, 10^e.
- Gandet** (Charles-Henri), Directeur général de la Société l'Éclairage électrique, 361, rue Lecourbe, à Paris, 15^e.
- Gandouin** (François-Clément), Mécanicien principal de 1^{re} classe de la Marine, 28, avenue de Breteuil, à Paris, 7^e.
- Gaultier** (Georges), Ingénieur, 14, rue Dumont-d'Urville, à Paris, 16^e.
- Gaumont** (Léon), Administrateur-Directeur de la Société des établissements Gaumont, 57, rue Saint-Roch, à Paris, 1^{re}.
- Gaumy** (René-Marcel), Ingénieur de la Société métallurgique de l'Ariège, à Pamiers (Ariège). M. P.
- Gaupillat** (Marcel), Ingénieur des Arts et Manufactures, 2, rue Marbeuf, à Paris, 8^e.
- Gauthier** (Pierre), Administrateur de la Société d'entreprises générales de Mécanique et d'Électricité, Gauthier, Leclerc et C^{ie}, 25, boulevard G.-Favon, à Genève (Suisse).

- Gauthier-Villars** (Albert), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Imprimeur-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins, à Paris, 6^e.
- Gautier** (Georges), Docteur en Médecine, Directeur du *Laboratoire d'Électrothérapie*, 9, rue Beaujon, à Paris, 8^e.
- Gavriloff** (Jean), Ingénieur de la Marine russe, Chargé de la construction de la canonnière M. J. R., *Guiliak*, Wasili Ostrow, 2^e ligne, n° 37, log. 2, à Saint-Petersbourg (Russie).
- Gay** (Alfred), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, 20, avenue Rapp, à Paris, 7^e.
- Gazanion** (Paul), Ingénieur, 31, rue de Tournon, à Paris, 6^e.
- Gély** (Edmond), Ingénieur électricien, attaché à la *Compagnie des Chemins de fer du Midi*, 24, place de la Bourse, à Toulouse (Haute-Garonne).
- Gendre** (Paul), Ingénieur électricien, Inspecteur à la *Société d'Éclairage et de Force par l'Électricité*, 53, rue des Dames, à Paris, 17^e.
- Geneux** (François), Directeur de la *Société des Forces électriques de la Goule*, à Saint-Imier (Suisse).
- Génon** (Henri), ancien Préparateur à l'*École supérieure d'Électricité*, 137, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5^e.
- Gentet** (Louis), 121, rue Lecourbe, à Paris, 15^e.
- Genteur** (Jules-Arthur), Constructeur électricien, 122, avenue Philippe-Auguste, à Paris, 11^e.
- Geoffroy** (Eugène), Manufacturier, 119, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e. M. F.
- Gerard** (Eric), Directeur de l'*Institut électrotechnique Montefiore*, 35, rue Saint-Gilles, à Liège (Belgique).
- Gérard** (Ernest), Administrateur du Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes de Belgique, 12, rue Beyaert, à Bruxelles (Belgique).
- Getting** (Édouard-Henri), Administrateur délégué de la *Compagnie française de charbons pour l'électricité*, usine du Moulin noir, à Nanterre (Seine).
- Gibert** (Arthur), Ingénieur E.-C.-P., Installateur d'électricité, Constructeur électricien, 87, rue Saint-Thomas, à Saint-Quentin (Aisne).
- Gignon** (Charles-Albert), Lieutenant de vaisseau, au Tréport (Seine-Inférieure).
- Giles** (Georges), Directeur et Administrateur de la *Société des Condensateurs*, Administrateur de la *Société des Procédés Béciqueul*, à Fribourg (Suisse).
- Gilles-Saint-Germain** (René), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à la *Société industrielle des Téléphones*, 142, boulevard Pereire, à Paris, 17^e.
- Gin** (Gustave), Administrateur délégué de la *Société des procédés Gin pour la Métallurgie électrique*, 149, rue de Rome, à Paris, 17^e.
- Gindre** (Eugène), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Directeur de la *Société anonyme « Le Carbone »*, 12 et 33, rue de Lorraine, à Levallois-Perret (Seine).
- Girard** (Charles), Directeur du *Laboratoire municipal*, 40, boulevard de la Bastille, à Paris, 12^e. M. F.
- Girard** (Constant-Louis), Ingénieur électricien à la *Construction du port de Rosario*, à Rosario (République Argentine).
- Girard** (Louis), Conducteur municipal, 156, rue de Belleville, à Paris, 20^e.
- Girard de Vasson** (Jean-Bertrand), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Licencié ès Sciences, Directeur de la *Société anonyme d'Éclairage et d'Applications électriques*, à Arras (Pas-de-Calais).
- Girardin** (Marc), *Usine électrique des Ponts Jumeaux*, à Toulouse (Haute-Garonne).

- Giraud** (Maurice), Ingénieur aux *Hauts Fourneaux et Forges d'Allevard*, à Allevard (Isère).
- Giraud-Teulon** (Marc-Antoine-Félix-Emile), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société grenobloise de Force et Lumière*, à La Mulatière (Rhône).
- Girault** (Paul-Gabriel), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 53, rue Mathurin-Régnier, à Paris, 15^e.
- Girousse** (Gaston), Ingénieur des Télégraphes, 40, rue de l'Annonciation, à Paris, 16^e.
- Gleyre** (Constant), Ingénieur, 9, rue Pillet-Will, à Paris, 9^e.
- Godfroy** (Fernand), Directeur de la *Compagnie française des Câbles télégraphiques*, à Brest (Finistère).
- Godinet** (Auguste), Ingénieur en chef des *Usines à Gaz et d'Électricité* (MM. de Lachomette et Villiers), 4, quai de la Pêcherie, à Lyon (Rhône).
- Goisot** (George-André-Félix), Constructeur, 10, rue Bélidor, à Paris, 17^e. M. P.
- Goldschmidt** (Charles-André), Directeur de la *Maison Baguès Kasr el Nil*, au Caire (Égypte), et 31, rue des Francs-Bourgeois, à Paris, 4^e.
- Goldsmith** (Ferdinand), Ingénieur du *Matériel des Chemins de fer de l'Ouest*, 94, boulevard Flandrin, à Paris, 16^e.
- Gomonet** (Eugène), Ingénieur à la *Compagnie des Accumulateurs Union*, 60, rue de la Sablière, à Asnières (Seine).
- Gondard** (Georges-Pierre), Ingénieur à la *Société anonyme électro-textile*, 6, rue Joseph-Bara, à Paris, 6^e.
- Gorce** (Paul-Marie-M.-E. de la), Ingénieur, 2, rue de Commaille, à Paris, 7^e.
- Gossart** (Émile), Professeur de Physique expérimentale à la *Faculté des Sciences de Bordeaux*, chargé d'un cours d'électricité industrielle, 68, rue Eugène-Teisot, à Bordeaux (Gironde).
- Gosselin** (Xavier), Chef des Travaux électriques à l'*École centrale des Arts et Manufactures*, 19, boulevard Magenta, à Paris, 10^e.
- Gounouilhau** (G.), 11, rue Guiraud, à Bordeaux (Gironde).
- Gourdeau** (Gaston-Marcel), Ingénieur des *Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est*, 16, rue Lévis, à Paris, 17^e.
- Gourguechon** (Georges), Ingénieur au Corps des Mines, 49, rue Claude-Lorrain, à Paris, 10^e.
- Graff** (John), Ingénieur principal de la *Société grenobloise de Force et Lumière*, 3, rue Président Carnot, à Lyon (Rhône).
- Gramont** (Comte Arnaud de), Docteur ès Sciences physiques, 179, rue de l'Université, à Paris, 7^e. M. P.
- Grandjean** (Jules), Ingénieur E. C. P.; E. S. E.; Fournitures générales pour l'électricité, 15, cours du Chapitre, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Grandmasson** (Émile), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la fabrique *Luz Stearica*, 7, Praia das Palmaras, à Rio-Janeiro (Brésil).
- Grassot** (Émile), Ingénieur à la *Compagnie pour la Fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz*, 48, boulevard de Vaugirard, à Paris, 15^e. M. P.
- Gratacap** (Adolphe), Ingénieur E. S. E.; Directeur des *Usine du Val-de-Rance à Maurs et de Riom-ès-Montagne*, à Maurs (Cantal).
- Gratzmuller** (Louis), Ingénieur électricien, 21, rue Théophile-Gautier, à Paris, 16^e.

- Graves** (James), M. I. E. E., à Valentia (Ireland). M. F.
- Gray** (C.-H.), *India Rubber and Telegraph Works Co*, Silvertown, London E. (Angleterre). M. F. M. P.
- Gray** (Robert-K.), 106, Cannon Street, London E. C. (Angleterre). M. F.
- Gray** (W.-E.), *India Rubber and Telegraph Works Co*, Silvertown, London E. (Angleterre). M. F. M. P.
- Griffsch** (G.-J.), Professeur de Mécanique à l'*Union française de la Jeunesse*, Ingénieur-Conseil en matière de traction électrique, Lauréat de la *Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, 183, rue Legendre, à Paris, 17^e.
- Grimaldi** (Giovanni-Pietro), Docteur ès Sciences physiques, Professeur ordinaire de Physique et Directeur du Laboratoire de Physique à l'*Université de Catania*, Recteur de l'*Université de Catania*, Délégué de la *Société italienne de Physique pour la rédaction du « Nuovo Cimento »*, Membre de la *Société française de Physique*, via Androne, 25, à Catania (Italie).
- Grivet** (René), Chef du Service électrique à la *Société anonyme des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de Denain et d'Anzin*, rue Saint-Amand, à Denain (Nord).
- Grivot** (Auguste), Ingénieur, Directeur, *Station centrale d'Électricité*, à Salto, République Orientale de l'Uruguay (Amérique du Sud).
- Gros** (Antoine), Chef du Service électrique à la *Société d'Éclairage de Montreuil*, 7 bis, rue du Pré, à Montreuil-sous-Bois (Seine).
- Grosdidier** (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, 28, rue de Turin, à Paris, 8^e.
- Grosrenaud** (R.-E.), Ingénieur électricien E. S. E., Licencié ès Sciences mathématiques, *Bureau d'études de la Société alsacienne de Constructions électriques*, à Belfort (territoire de Belfort).
- Grosselin** (Marie-Joseph), Ingénieur civil des Mines, 26, rue Godot-de-Mauroi, à Paris, 9^e. M. P.
- Guasson** (B.), Commis principal des Postes et des Télégraphes, à Limoges (Haute-Vienne). M. F.
- Guénée** (Albert-Charles-James), Constructeur, Lieutenant de vaisseau de réserve, 20, quai de Marne, à Joinville-le-Pont (Seine).
- Guénet** (Jules), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue de Montmorency, Paris, 3^e.
- Guérin** (Pierre), 4, rue Cambon, à Paris, 1^{re}.
- Guery** (François-Charles), Ingénieur électricien, 12 bis, rue du Marché, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Guesde** (Mario), Ingénieur, Directeur de l'*Électricité* de Saulxures (Vosges).
- Guichard** (Marcel), Ingénieur de la *Société d'Électricité Mors*, villa Terminus, rue de Villeneuve, à Garches (Seine-et-Oise).
- Guilbert** (Cyrille-Fernand), Ingénieur électricien, 3, rond-point Thiers, Le Raincy (Seine-et-Oise).
- Guilhem** (Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, rua Verguero, n° 19, à São Paulo (Brésil).
- Guillaume** (Charles-Édouard), Directeur adjoint du *Bureau international des Poids et Mesures*, Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise).
- Guillaume** (Pierre-Antonin), Ingénieur, Directeur de la Société *Le Centre électrique*, 30, rue Grande, à Argenton-sur-Creuse (Indre).
- Guillemin** (Prosper-Victor), Ingénieur électricien, Chef de Laboratoire à la *Compagnie de Fives-Lille*, 9, place de l'Hôtel-de-Ville, à Givors (Rhône).

Guillet (Léon), Ingénieur-Conseil d'*Usines métallurgiques et de Constructions mécaniques*, 8, avenue des Ternes, à Paris, 17^e.

Guillez (Louis-Émile), Sous-Inspecteur des *Services électriques aux Chemins de fer du Nord*, quai Robinson, Ile Saint-Ouen, par Saint-Ouen (Seine).

Guillon (Cyrille-Edmond), Ingénieur, à Thervay (Jura).

Guillon (Émile-Philippe), Ingénieur de l'*Institut industriel*, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Attaché à la *Société industrielle des Téléphones*, 88, rue Mozart, à Paris, 16^e.

Guinant (Émile), 9, rue Coquillière, Paris, 1^{er}.

Guittou (Adrien), Ingénieur, 22, rue de la Bourse, à Saint-Étienne (Loire).

M. F. M. P.

Guthier (Paul-Ferdinand), Sous-Inspecteur du *Service électrique des Chemins de fer de l'Ouest*, 44, rue de Rome, à Paris, 8^e.

Gutperle (A.), Administrateur-Directeur de la *Térébenthine française*, 16, rue Pascal, à Nanterre (Seine).

M. F.

Guyau (Augustin-Antoine-André), Ingénieur, villa Fouillée, à Menton (Alpes-Maritimes).

Guyot (Jules-Eugène), Chef du Laboratoire de la *Maison Breguet*, 6, rue de Vanves, à Paris, 14^e.

Hacart (Octave-Frantz), Ingénieur électricien à la *Compagnie générale pour l'Éclairage et le Chauffage par le gaz*, 42, rue de Longue-Vie, à Bruxelles-Ixelles (Belgique).

Hainglaise (Pierre-Victor), Sous-Directeur de la *Société Sud-Lumière*, 31, quai Blanqui, à Alfortville (Seine).

Halphen (André), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 23 rue Fortuny, à Paris, 17^e.

Hamilton (Georges-A.), Ingénieur de la *Western Electric Co*, 532, Morris Avenue Elisabeth, New-Jersey (U. S. A.).

M. F.

Hamm (Lucien-Auguste-André), de la *Maison L. Hamm et C^{ie}*, Ingénieurs-Construteurs, 34, rue Montpensier, à Paris, 1^{er}.

Hammer (Jean), Ingénieur, Administrateur délégué de la *Compagnie générale électrique*, 58 bis, rue de Metz, à Nancy (Mourthe-et-Moselle).

Hanning (William), Ingénieur, 17 et 19, rue de Maubeuge, à Paris, 9^e.

Hannothiaux (Eugène), Ingénieur en chef de la *Compagnie d'Électricité de Varsovie*, 11, Foksal, à Varsovie (Russie).

Hardelay (Jacques), 40, rue d'Anjou, à Paris, 8^e.

Hardy (André-Ernest), Ingénieur des Postes et Télégraphes, 6, avenue Jules-Janin, à Paris 16^e.

Harlé (Émile), ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées, Associé-Gérant de la *Maison Harlé et C^{ie}*, 26, avenue de Suffren, à Paris, 15^e.

Hauser (Henri), Ingénieur-Conseil, Professeur à l'*École des Mines de Madrid*, Membre de la Real Academia de Ciencias, Président de la Société espagnole de Physique et Chimie, Secrétaire de la Commission du Grisou, rue Zorrilla, n° 33, à Madrid (Espagne).

M. P.

Hayet (Augusto), Ingénieur, Chef du Service des travaux extérieurs aux *Ateliers Thomson-Houston*, 72, rue Cambronne, à Paris, 15^e.

- Hébert** (Paul-Charles-Albert), Ingénieur-Constructeur, 58, boulevard Pasteur, Paris, 15°.
- Hefty** (André-Frédéric), Capitaine d'Artillerie, chargé de l'École *Photo-électrique*, au Havre (Seine-Inférieure).
- Heilmann** (Josué), Ingénieur de la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, avenue du Lycée, à Belfort (territoire de Belfort).
- Heinz** (Alfred), Fabricant d'accumulateurs électriques, 27, rue Cavé, à Levallois-Perret (Seine).
- Heitmann** (Edwards), *Crocker Wheeler Co*, à Ampère, New-Jersey (U. S. A.).
- Héltas** (Gilbert-Henri), Ingénieur électricien ESE, 3, rue Pestalozzi, à Paris, 5°.
- Heller** (Richard), Ingénieur électricien, 18 et 20, cité Trévisé, à Paris, 9°.
- Helmer** (Oscar), Ingénieur-Conseil de *MM. Schneider et Cie*, 3, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé (Seine).
- Hennegrave** (Charles-Eugène), Associé de la *Maison Hennegrave et Agnus*, 21, rue Théophile-Gautier, à Paris, 16°.
- Henrard** (Georges), Directeur de la *Société lyonnaise des Forces motrices du Rhône*, 37, rue de la République, à Lyon (Rhône).
- Henrion** (Edmond), Ingénieur au *Sud électrique*, 11, rue Petite-Fusterie, à Avignon (Vaucluse).
- Henrion** (Léon), Usines Fabius Henrion, à Nancy et Pagny-sur-Moselle (Meurthe-et-M^{lle}).
- Henry** (Adolphe), Ingénieur civil des Mines, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, Directeur de la *Société de Location de Wagons de grande capacité (Système Arbel)*, 6, rue Bonaparte, à Paris, 6°.
- Henry** (René), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la *Raffinerie Sommier*, 145, rue de Flandre, à Paris, 19°. M. F.
- Hérard** (F.), Ingénieur civil, 6, rue d'Assas, à Paris, 6°.
- Herbault** (Charles), Président d'honneur du *Syndicat professionnel des Usines d'Électricité*, Président du Conseil d'Administration de la *Société générale d'Électricité*, 48, rue Laborde, à Paris, 8°.
- Hering** (Carl), Consulting Electrical Engineer, Délégué général de la *Société internationale des Électriciens*, 929, Chesnut street, à Philadelphie, Pa. (U. S. A.).
- Herrenschmidt** (Henri), ancien Chef de Travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 10, boulevard de Magenta, à Paris, 10°.
- Herrero** (Wilfred-M.), Ingénieur, 1, Western Terrace Shorncliffe Road, à Folkestone (Angleterre).
- Herrgott** (Joseph-Michel-Camille), Ingénieur aux *Ateliers de Constructions hydro-électriques* E. Chaudel-Page, La Sablière, au Valdoie (territoire de Belfort).
- Herrmann** (Maximiliano), Industriel, Constructeur d'appareils électriques, 6, Calçada do Lavra, à Lisbonne (Portugal).
- Hertzog** (Gustave), Architecte-expert, 7, rue Saint-Louis, à Metz (Alsace).
- Hevesy** (Guillaume de), Ingénieur, 4, rue Marie-Valerie, à Budapest (Hongrie).
- Heyland** (Alexandre), Ingénieur, 11, boulevard du Régent, à Bruxelles (Belgique).
- Hiberty** (Alfred), Inspecteur du Matériel et de la Traction du *Chemin de fer d'Orléans*, 101, quai de la Gare, à Paris, 13°. M. P.
- Hillairet** (A.), Ingénieur-Constructeur, 22, rue Vicq-d'Azir, à Paris, 10°. M. P.
- Himmelsbach** frères, *Établissements d'imprégnation de bois*, à Fribourg (Grand-Duché de Bade).

- Hissink** (Jack), Ingénieur en chef à la *Bergmann Elektricitäts Werke Actien Gesellschaft*, Hansa-Ufer, 8, à Berlin N. W. (Allemagne).
- Holzschuch** (Jacques), Ingénieur E. C. P., Ingénieur électricien, Inspecteur des Services techniques au *Chemin de fer du Nord*, 31, rue Octave-Feuillet, à Paris, 16^e.
- Horn** (Émile), 16, rue Daubigny, à Paris, 17^e.
- Houzé** (Henri), Ingénieur électricien de la *Compagnie des Mines de Courrières*, 10, avenue de la Fosse, à Billy-Montigny (Pas-de-Calais).
- Huard** (Marcel), Ingénieur à la *Maison F. Henrion*, 30, rue de la Salle, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Huber** (Michel), Ingénieur civil, ancien Élève de l'*École Polytechnique*, et de l'*École supérieure d'Électricité*, 16, rue Cardinal-Lemoine, à Paris, 5^e.
- Hugoniot** (Charles-Émile), Ingénieur en chef des *Services techniques de l'Exploitation du Chemin de fer Métropolitain de Paris*, 72, boulevard de Berçy, à Paris, 12^e.
- Huguet** (Alphonse-Charles-Albert), Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien Président de Section au Tribunal de Commerce de la Seine, Constructeur, 22, rue Vicq-d'Azir, à Paris, 10^e.
- Hulin** (Léon-Paul), Directeur des usines de la *Société d'Électrochimie*, 6, rue Félix-Poulat, à Grenoble (Isère).
- Humblot** (Joseph-Marcel-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur électricien des *Chemins de fer du Sud de la France*, 22, rue Michel-Ange, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Hunter** (Rudolph-Melville), Consulting Engineer and Electrical Expert, 1011, Chesnut street, à Philadelphie, Pa (U. S. A.). M. F.
- Hurmuzescu** (Dragomir), Professeur à l'*Université de Jassy*, à Jassy (Roumanie).
- Iglésis** (Sébastien-Sauveur), Constructeur, *Maison Iglésis et Regner*, 32, rue Rennequin, à Paris, 17^e.
- Iliovici** (Avram-David), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Préparateur à l'*École supérieure d'Électricité*, 118, rue Lecourbe, à Paris, 15^e.
- Imbault** (Georges-François), *Compagnie Cleveland Bridge Co, Port Sudan*, (Soudan égyptien).
- Imbault** (Paul-Marcel), Ingénieur électricien, à Combleux, par Saint-Jean-de-Braye (Loiret).
- Institut électrotechnique** de l'Université de Grenoble, à Grenoble (Isère).
- Institut d'Électrotechnique et de Mécanique appliquée** de la Faculté des Sciences de Nancy, 2, rue de la Citadelle, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Isambert** (Alphonse-Prosper), Chef d'usine à la *Compagnie parisienne de l'air comprimé*, 132, quai Jemmapes, à Paris, 10^e.
- Izard** (Justin), Ingénieur des Postes et des Télégraphes, à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- Jackson** (Dugald-C.), Professor of *Electrical engineering Massachusetts Institut of Technology*, Consulting Engineers, Chicago and Boston, à Boston, Mass. (U. S. A.).

- Jacob** (Paul-Louis-Eugène), Ingénieur électricien, Sous-Inspecteur des Services électriques du *Chemin de fer du Nord*, 9, rue des Écoles, à Ermont (S.-et-Oise).
- Jacobsen** (Jac-Herman), ancien Élève de l'*École pratique d'Électricité industrielle* et de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Société Sud-Lumière*, 23, rue Baudin, à Paris, 9°.
- Jacobsfeld** (Samuel), Ingénieur électricien, 5, Ottostrasse, à Aix-la-Chapelle (Allemagne).
- Jacquín** (Charles), Ingénieur électricien, 11, rue Bélidor, à Paris, 17°.
- Jacquín** (Louis-Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Service des Canalisations à la *Compagnie d'Éclairage électrique du Secteur des Champs-Élysées*, 47, avenue Henri-Martin, à Paris, 16°.
- Janet** (Paul), Professeur à l'*Université de Paris*, Directeur du *Laboratoire central* et de l'*École supérieure d'Électricité*, 8, rue du Four, à Paris, 6°. M. P.
- Janin** (Étienne), Sous-Inspecteur à la *Compagnie de l'Ouest*, 44, rue de la Pompe, à Paris, 16°.
- Jannettaz** (Paul), Ingénieur-Expert près les Tribunaux, 68, rue Claude-Bernard, à Paris, 5°.
- Janssen** (Pierre-Eugène), Banquier, 3, rue d'Offémont, à Paris, 17°.
- Janvier** (Georges), Chef des services commerciaux des *Stations centrales* à la *Compagnie générale d'Électricité*, 94, rue de Colombes, à Asnières (Seine).
- Japy de Beaucourt** (Henry), Ingénieur des Arts et Manufactures, Inspecteur de l'*Enseignement technique du Haut-Rhin*, 99, rue de Courcelles, Paris, 17°.
- Japy** frères et C^{ie}, à Beaucourt (Haut-Rhin français). M. P.
- Jarre** (Léon-Henri), Ingénieur électricien, *Administrateur de la Société Anonyme de force et lumière électriques*, 9, rue de Roeroy, à Paris, 10°.
- Jarriant** (Joseph), Fabricant de fils et câbles pour l'Électricité, 233, rue Croix-Nivert, à Paris, 15°.
- Jaubert** (Jean-François-Pierre), Ingénieur à la *Maison Bréguet*, 14, rue Belgrand, à Paris, 20°. M. P.
- Jaulin** (Julien), Ingénieur électricien à la *Compagnie pour la fabrication des Compteurs et Matériel d'usines à gaz*, 2, rue Perdonnet, à Paris, 10°.
- Javal** (Jean-Félix), Ingénieur électricien, Membre du *Conseil général de l'Yonne*, 45, rue de Boulainvilliers, à Paris, 16°. M. P.
- Javaux** (Émile), Président du Conseil et Administrateur-Délégué de la *Société Gramme*, 130, boulevard Pereire, à Paris, 17°. M. P.
- Jeance** (Maurice-Jules), Lieutenant de vaisseau, 27, rue de Rocroy, à Paris, 10°.
- Jean-Joseph** (Auguste), 58, rue Pierre-Charron, à Paris, 8°.
- Jégou** (Paul-François-Louis-Marie), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Études de Télégraphie sans fil, 83, rue Saint-Nicolas, à Sablé (Sarthe).
- Jelenkovski** (Jules), Ingénieur électricien, 1, rue du Chemin-de-Fer, à Saratof (Russie).
- Jenny** (Ferdinand), Ingénieur, Directeur des *Services de l'éclairage et de la distribution de l'énergie de la ville de Grenoble*, 28, rue du Polygone, à Grenoble (Isère).
- Jénot** (Célestin), Ingénieur, Chef du Service des Machines à vapeur et du Service électrique aux *Usines Métallurgiques*, à Neuves-Maisons (Meurthe-et-Moselle).
- Jénot** (Lucien-Gabriel), Ingénieur, Secrétaire général de la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*, 49, rue d'Alésia, à Paris, 14°.

- Jéramec** (Henri), Ingénieur électricien à la *Compagnie des Forges de Châtillon-Com-mentry et Neuves-Maisons, Usine Saint-Jacques*, rue du Lycée, Montluçon (Allier).
- Jigouzo** (Paul), Ingénieur civil des Mines, 78, rue Jullien, à Vanves (Seine).
- Jijié** (Adam), Capitaine de Marine, Ingénieur électricien, à Constantza (Roumanie).
- Johann** (C. N. P.), Ingénieur électricien (E. S. E.), 20, rue Louis-Braille, à Paris, 12^e.
- Joly** (Henri-Louis), A. M. I. E. E. A. M. Am. I. E. E.; A. et M., etc., Ingénieur en chef *Electro-mobile Co Limited*, 4, Glèbe Place Chelsea, à Londres S. W. (Angleterre).
- Joly** (Louis-Eugène), Ingénieur aux *Ateliers Carpentier*, 193, boulevard Raspail, à Paris, 14^e.
- Joly** (Maurice), Ingénieur électricien, 15, rue de Surène, à Paris, 8^e.
- Joly** (Maurice-Léon), Agrégé de l'Université, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 5, rue du Chemin-de-Fer, à Bourg-la-Reine (Seine).
- Jordery** (C.), à Chamirey-Bourgneuf, Val d'Or (Saône-et-Loire). M. F.
- Josse** (Hippolyte), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur-conseil en matière de brevets d'invention, 17, boulevard de la Madeleine, à Paris, 1^{er}.
- Jouaust** (Raymond-Albert), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Chef de travaux au *Laboratoire central d'Électricité*, 18, rue Dutot, à Paris, 15^e.
- Joubert** (Arigle), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Station cen-trale d'Électricité*, 27, rue du Tapis-Vert, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Joubert** (J.), Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet, à Paris, 15^e.
- Jouët** (Georges), 64, rue Pierre-Charron, à Paris, 8^e. M. F.
- Jouffret** (Henri), Ingénieur à la *Compagnie générale française et continentale d'Éclairage*, 18, rue de Bruxelles, à Paris, 9^e.
- Journaux** (J.), Constructeur des Manufactures de l'État, *Mécanique, Électricité, Auto-mobile*, 56, rue des Cévennes, à Paris, 15^e. M. F.
- Jouvenel** (Albert), Ingénieur aux *Ateliers Thomson Houston*, 166, boulevard Montparnasse, à Paris, 14^e.
- Jouvion** (Marie-Henri), Licencié ès sciences, Inspecteur au *Bureau de Contrôle des Installations électriques*, 139, boulevard de Grenelle, à Paris, 15^e.
- Jovignot** (Charles), 34, avenue de l'Observatoire, à Paris, 14^e.
- Joyer** (Gaston-Ernest), Attaché au Service de la traction à la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*, 147, boulevard Montparnasse, à Paris, 14^e.
- Jumau** (Lucien-Jules), Ingénieur électricien, Ingénieur de la *Société pour le travail électrique des métaux*, 47 bis, rue d'Orsel, à Paris, 18^e.
- Juppont** (Pierre), Ingénieur-Conseil électricien, 55, allées Lafayette, à Toulouse (Haute-Garonne). M. F.
- Keller** (Albert), Administrateur délégué de la *Société des Établissements Keller et Leleux pour les alliages électro-thermiques*, Directeur de la *Compagnie Electro-thermique Keller-Leleux et Cie*, 3, rue Vignon, à Paris, 8^e.
- Kelly** (John-F.), Ingénieur-Conseil électricien, 284, West. Housatonic Street, à Pitt-field (U. S. A.).
- Kempe** (H.-R.), Engineer in chief's Office, General Post Office, London E. C. (Angle-terre). M. F.
- Kerchove** (Prosper Van den), Sénateur, 203, coupure, à Gand (Belgique). M. F.

- Kergorlay** (comte Alain de), Ingénieur-Constructeur, 5, avenue du Château, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Kesseldorfer** (Wilhelm), Ingénieur à la *Cie du Gaz*, 16, avenue de Grammont, à Tours (Indre-et-Loire).
- Kienast** (Hans), Ingénieur électricien diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Chef du Bureau d'études aux *Établissements Gaumont*, 21, rue Sainte-Croix-de-la-Bretonnerie, à Paris, 4^e.
- Kissel** (Edmond-Florent-Alphonse), 4, villa d'Orléans, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Klein** (Eugène-Xavier), Sous-Inspecteur au Service du matériel fixe de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*, 45, rue de la Chapelle, à Paris, 18^e.
- Kleist** (baron Félix de), Ingénieur aux ateliers *Thomson-Houston*, 140, boulevard Raspail, à Paris, 6^e.
- Koch** (Charles-Maximilien), Directeur de la *Société française d'Électricité A. E. G.*, 64, avenue Malakoff, à Paris, 16^e.
- Korda** (Désiré), Ingénieur, Administrateur de la *Société bouloonnaise d'éclairage et de force par l'Électricité*, 15, rue Ambroise-Thomas, à Paris, 9^e.
- Kowalski** (Joseph de), Professeur de Physique à l'*Université de Fribourg*, à Fribourg (Suisse).
- Kraft** (Victor), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, en retraite, 53, avenue des Ternes, à Paris, 17^e.
- Krakau** (Alexandre), Professeur à l'*Institut électrotechnique Alexandre III*, 5, Pesotschnaja, à Saint-Petersbourg (Russie).
- Krakovski** (Léon), Ingénieur de la *Cie d'Électricité de Varsovie*, 7, rue Mila, à Varsovie, Pologne (Russie).
- Kraushar** (Julien), 116, rue d'Assas, à Paris, 6^e.
- Krebs** (le Commandant), 19, avenue d'Ivry, à Paris, 13^e.
- Krieger** (Louis), Ingénieur électricien, 3, rue Ampère, à Paris, 17^e.
- Krizik** (Franz), Ingénieur électricien, ancien Élève de l'*École Polytechnique slave de Prague*, à Prague (Autriche).
- Küntziger** (Jean), Ingénieur à la *Société anonyme des Ateliers électriques de Saint-Ouen*, 13, rue de Clichy, à Saint-Ouen (Seine).
- Kupper** (Albert), Ingénieur (E. C. P.) (E. S. E) Ingénieur à l'*Énergie électrique du Sud-Ouest*, à Tuilière, par Saint-Capraise-de-Lalinde (Dordogne).

- Labèque** (Eugène-Jean), Ingénieur, Directeur des *Anciens Établissements Parvillée frères et Cie*, à Cramoisy (Oise).
- La Boulaye** (de), Directeur en retraite de la *Caisse nationale d'épargne*, 240, rue du Faubourg-Saint-Honoré, à Paris, 8^e. M. F.
- Labour** (Édouard), Ingénieur des ateliers de la Société *l'Éclairage électrique*, 1, avenue Victor-Hugo, à Boulogne-sur-Seine (Seine).
- Labour** (H.), Ingénieur, 13, chaussée de la Muette, à Paris, 16^e.
- Laboureur** (Maurice-Jean-François-Marie), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur civil diplômé, Professeur à l'*École spéciale des Travaux publics* et à l'*École Bréguet*, 68, rue du Rocher, à Paris, 8^e.
- Labroue** (Édouard), Administrateur délégué de la *Compagnie générale électrique du*

- Sud-Ouest*, Ingénieur électricien, Licencié ès sciences, 21, rue de Mulhouse, à Bordeaux (Gironde).
- Labrouste** (Pierre), 24, rue de l'Hermitage, à Caudéran (Gironde).
- La Casta y Espana** (Joachim), Ingeniero, Director de la *Sociedad Valenciana de Electricidad*, 4, Gran-Via, à Valencia (Espagne).
- Lacauchie** (Lucien), Ingénieur civil, Chef du Laboratoire de la *Compagnie générale des Omnibus*, 18, rue Brochant, à Paris, 17^e.
- Lacaze** (Henri), Administrateur délégué de la *Compagnie anonyme continentale des compteurs*, 9, rue Pétreille, à Paris, 9^e.
- La Chapelle** (Gabriel de), 11, rue de l'Étoile, à Paris, 16^e.
- Lachave** (A.-L.), Ingénieur électricien, 55 bis, rue de Ponthieu, à Paris, 8^e.
- Lacoste** (H.-E.-E.), Ingénieur de la Marine, 1, rue de Traverse, à Brest (Finistère).
- Lacretelle** (Gaston), Administrateur délégué de la *Société de Force et Lumière électriques*, 9, rue de Rocroy, à Paris, 10^e.
- Lagabbe** (Charles-Edmond de), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Manufacture de Plombières*, à Plombières-les-Bains (Vosges).
- Lagarde** (Casimir), à Meslay-du-Maine (Mayenne).
- Lainé** (Maurice), 59, quai Valmy, à Paris, 10^e.
- Lalance** (Auguste), Administrateur délégué de la *Société d'Éclairage du Secteur de la place Clichy*, 53, rue des Dames, à Paris, 17^e.
- Lalande** (Félix de), Ingénieur civil, 183, boulevard Saint-Germain, à Paris, 7^e. M. F.
- Lalande** (Henri), Ingénieur de la *Maison Breguet*, 34, rue Victor-Hugo, à Lyon (Rhône).
- Lancelot** (François), Directeur de la succursale de la *Compagnie Internationale d'Électricité*, 141, rue Lafayette, à Paris, 10^e.
- Landrïn** (Paul), Ingénieur, 20, boulevard de Courcelles, à Paris, 17^e.
- Landry** (Jean), Ingénieur diplômé de l'*E. P. de Zurich*, Professeur d'Électricité industrielle à l'*Université de Lausanne*, à Lausanne (Suisse).
- Langevin** (Paul), Professeur suppléant au *Collège de France*, Professeur à l'*École de Physique et de Chimie*, 53, rue Boucicaut, à Fontenay-aux-Roses (Seine).
- Langlade** (Joseph), Directeur de la *Compagnie d'Électricité de l'Ouest-Lumière*, 3, quai National, à Puteaux (Seine).
- Langlois** (Jean), Industriel, *La Glacière*, à Rives-sur-Fure (Isère).
- Langot** (Wulfran-Joseph), Ingénieur civil des Constructions navales, Ingénieur électricien (E. S. E.), Ingénieur aux *Chantiers Pître (Maisons-Laffitte)*, 48, rue de l'Abbé-Groult, à Paris, 15^e.
- Laporte** (Frédéric-Claude-Marie), Ingénieur civil des Mines, ancien Élève de l'École Polytechnique, Sous-Directeur du *Laboratoire central d'Électricité*, 2, rue Saint-Simon, à Paris, 7^e.
- Laporte** (Georges), Directeur des réseaux de la *Société Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 540, rue de Paradis à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Lapresle** (Antonin), Ingénieur attaché au Bureau de M. G. Eiffel, 12, rue Ernest-Renan, à Paris, 15^e.
- Larbitray** (Louis), Ingénieur électricien, 28, rue Saint-Lazare, à Paris, 9^e.
- Lardy** (Auguste), Ingénieur, Sous-Directeur des *Forges d'Hennebont*, à Hennebont (Morbihan). M. F.
- Larnaude** (André), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur-Directeur de la *Compagnie française pour la fabrication des lampes électriques à incandes-*

- cence*, 31, rue Camille-Desmoulins, à Issy-les-Moulineaux (Seine) et 34, rue Godot-de-Mauroi, à Paris, 9°.
- Lasnier** (Jean-François), Ingénieur, 18, rue La Fontaine, à Paris, 16°.
- Lasserre** (Paul-Gilbert-Marie), Ingénieur à la *Canalisation électrique*, 17, rue de la Pitié, à Paris, 5°.
- Latour** (Marius), Ingénieur-Conseil de la *General Electric Co, Schenectady (U. S. A.)*, 22, rue de Tocqueville, à Paris, 17°.
- Laudet** (Gustave-Georges), Ingénieur à la Société l'*Éclairage électrique*, 212, rue de Vaugirard, à Paris, 15°.
- Laurain** (Henri), Directeur des Services techniques de la *Société du Gaz de Paris*, 5, rue Lallier, à Paris, 5°.
- Lauriol** (Pierre), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef des *Services d'Éclairage de la Ville de Paris*, 278, boulevard Raspail, à Paris, 14°.
- Lautré** (Jean-Roger), Licencié ès sciences, Ingénieur E. S. E., 61, rue d'Alsace-Lorraine, à Toulouse (Haute-Garonne) et 20, cours du Chapeau-Rouge, à Bordeaux (Gironde).
- Laval**, Inspecteur des Postes et des Télégraphes, en retraite, à Nancy (Meurthe-et-Moselle). M. F.
- Lavaur** (Pierre-Marie), Ingénieur à la *Société anonyme Westinghouse*, 14, rue du Cambodge, à Paris, 20°.
- Lavezzari** (André), Ingénieur civil, Administrateur-Délégué de la *Compagnie française de l'accumulateur Aigle*, 42, rue Blanche, à Paris, 9°.
- Laville** (Charles-Félix), 17, avenue Sainte-Marie, à Saint-Mandé (Seine).
- Léauté** (Henri), Membre de l'Institut, Administrateur délégué de la *Société industrielle des Téléphones*, 25, rue du Quatre-Septembre, à Paris, 2°.
- Le Baron**, Ingénieur électricien, 140, rue Lamarek, à Paris, 18°. M. F.
- Lebaupin** (Gustave-Léon), Ingénieur électricien, 59, rue de Plaisance, à la Garenne-Colombes (Seine).
- Leblanc** (Maurice), Ingénieur-Conseil de la *Société anonyme Westinghouse*, Le Val-sur-Seine, à Croissy (Seine-et-Oise). M. F.
- Leblond** (René), Attaché à l'Inspection des *Services électriques de la Compagnie du Nord*, Gare de Creil, à Creil (Oise).
- Lebon** (René-Camille-Fernand), Ingénieur, Directeur du réseau Roannais, *Énergie électrique du Centre*, Le Coteau (Loire).
- Lebovici** (Jacques), Ingénieur électricien, à la *Société des Acières de France*, à Isbergues (Pas-de-Calais).
- Lebrun** (Marcel-Alfred), Ingénieur électricien, 74, rue d'Alleray, à Paris, 15°.
- Lecat** (Eugène), Ingénieur électricien à la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, 2, rue Zola, à Belfort (Haut-Rhin).
- Lecerf** (Félix-Achille), Ingénieur des Arts et Manufactures, villa Cora, chemin du Petit-Juas, à Cannes (Alpes-Maritimes), et 47 bis, rue Boileau, à Paris, 16°.
- Le Chatelier**, Ingénieur des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, à Paris, 6°.
- Leclanché** (Maurice), Constructeur électricien, 114, boulevard Malesherbes, à Paris, 17°.
- Lecler** (H.-M.-P.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 74, rue de Paris, à Montmorency (Seine-et-Oise), et à Châtellerault (Vienne). M. P.
- Le Clerc** (G.-R.-M.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur des *Mines de Montigné*, à la Grange, par Montigné (Mayenne).

- Lecocq** (Fernand), 74, rue d'Alésia, à Paris, 14°.
- Lecocq** (Georges-Théophile), Attaché au Service de l'Inspection de l'exploitation de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*, à Nacqueville (Manche).
- Lecomte** (Albert-Louis), Sous-Directeur de la *Compagnie des Lampes à arc Jandus*, 192, boulevard de Charonne, à Paris, 20°.
- Ledeuil** (Lucien-Émile-Marius), Ingénieur aux *Ateliers de construction du Nord et de l'Est*, à Jeumont (Nord).
- Ledieu** (Charles-Victor), 14, villa Sainte-Anne, à Asnières (Seine).
- Ledoux** (Robert-Charles-Paul), 250 bis, boulevard Saint-Germain, à Paris, 7°.
- Leduc** (G.), Ingénieur des Arts et Manufactures, *Installations électro-mécaniques*, 11, rue de la Concorde, à Toulouse (Haute-Garonne).
- Lefèvre** (Émile), Ingénieur à la *Compagnie électrique du Secteur de la rive gauche de Paris*, 69, boulevard Pasteur, à Paris, 15°.
- Lefèvre** (Gustave), Ingénieur aux *Établissements Grammont*, à Pont-de-Chéruy (Isère).
- Legendre** (Louis-André), Électricien de la *Maison Legendre frères*, 105, rue de Turenne, Paris, 4°.
- Le Gentil-Parent** (A.), 53, rue de Bapaume, à Arras (Pas-de-Calais). M. F.
- Le Goff** (Charles-Eugène), Ingénieur, Service électrique, *Mines de Liévin*, Hôtel Leroy, à Liévin (Pas-de-Calais).
- Legouëz** (Raynald), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur de la *Société Parisienne pour l'Industrie des chemins de fer et tramways électriques*, Administrateur des *Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est*, 83, avenue Malakoff, à Paris, 16°.
- Legoupil** (Paul), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur aux *Établissements Aubert-Grenier*, 24, rue Chaudronnerie, à Dijon (Côte-d'Or).
- Legrand** (Emmanuel), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Docteur ès Sciences physiques, Ingénieur au Service technique du *Crédit Lyonnais*, 62, boulevard Malesherbes, à Paris, 8°.
- Lehman-Bing** (Jacques), Ingénieur, 45, rue Saint-Sébastien, à Paris, 11°.
- Le Las** (Maurice), Ingénieur-Constructeur, 277, rue Saint-Honoré, à Paris, 8°.
- Lelong** (Robert), Ingénieur en chef de la Marine, Professeur à l'*École d'Application du Génie maritime*, 20, rue de Tournon, à Paris, 6°.
- Lemaitre** (Marcel-Charles-Eugène), Secrétaire du Service des Ateliers et de l'Entretien à la *Compagnie internationale des Wagons-Lits* (Services Russes), Chemin de fer de la Baltique, 50, rue Stépanowa, Gare de Ligovo (Russie).
- Le Maréchal** (E.), à Saint-Servan (Ille-et-Vilaine). M. F.
- Lembké** (Henry), Spécialité d'isolants pour l'électricité, 24, rue Albouy, à Paris, 10°.
- Lemoine** (Charles-Hippolyte), Ingénieur de la *Société des Établissements Gaumont*, 11, rue Armand-Carrel, à Paris, 19°.
- Le Neve-Foster** (Arthur), 61, Cadogan square, à London S. W. (Angleterre). M. F. M. P.
- Lenoir** (Félix-Charles), Constructeur électricien, 194, boulevard Malesherbes, à Paris, 17°.
- Léo** (François-Henri-Auguste), Inspecteur de l'*Exploitation du Nord*, 25, rue d'Aumale, à Saint-Quentin (Aisne).
- Léone** (Laurent), Élève-Ingénieur de l'*École d'Application à Rome*, 77, rue Rome, à Cagliari (Sardaigne).

Leprince (Georges), 20, rue Voltaire, à Anzin (Nord).

Lequeux (Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac, à Paris, 5^e.

M. F.

Leroy (Gustave-Jules-Henri), Ingénieur à la *Société pour l'exploitation des procédés Goldschmidt* 30, rue de Flandre, à Paris, 19^e.

Leroy (Jules-Léon), Ingénieur civil, 22, rue de Tocqueville, à Paris, 17^e.

Leroy (Maurice), ancien Officier de Marine, Ingénieur électricien, 6, rue de Chantilly, à Paris, 9^e.

Lesage (Robert), 113, avenue de Villiers, à Paris, 17^e.

Leson (Auguste-Marie), 8, rue Edme-Guillout, à Paris, 15^e.

Le Soufaché (J.-P.-M.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur diplômé de l'École supérieure d'Électricité, Associé de la *Maison F. Grimault, Le Soufaché et Félix*, Anciens Établissements *Henri Rouart*, 50, rue de Laborde, à Paris, 8^e.

Le Souhaitier (René-Hector-Jules), Ingénieur électricien, Professeur d'Électricité à l'École pratique d'Industrie de *Montbéliard*, à Montbéliard (Doubs).

Lestienne (Waldemar-Jules), 50, rue Chevalier, à Levallois-Perret (Seine).

Lestrade (Georges-Paul), Ingénieur des constructions civiles, Licencié en droit, Inspecteur des Services électriques des *Chemins de fer de ceinture*, 105, avenue du Roule, à Neuilly (Seine).

Lesueur (Albert-Maurice-Stanislas), Capitaine d'Artillerie, *Atelier de construction de Puteaux*, à Puteaux (Seine).

Letheule (Paul), Ingénieur-Conseil, ancien Élève de l'École des Ponts et Chaussées et de l'École supérieure d'Électricité, 10, rue Taitbout, à Paris, 9^e.

Letrou (Maurice), Ingénieur à la *Société de l'Éclairage électrique*, 103, rue Blomet, à Paris, 15^e.

Leveau (Jules-Georges-Gaston), Service des Canalisations. *Société nautique d'Éclairage et de Force par l'électricité*, 16, rue Lamoricière, à Nantes (Loire-Inférieure).

Lévy (Michel-Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, Assistant au *Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers*, 1, impasse du Moulin-Joly, à Paris, 11^e.

Leyendecker (Léon-Pierre-Auguste), Contrôleur principal du Service électrique des *Chemins de fer de l'État, Usine électrique de la gare*, à Niort (Deux-Sèvres).

Lezand (Pierre-Albert), Ingénieur, 22 *ter*, rue Legendre, à Paris, 17^e.

Lézy (Gustave), Constructeur d'*Instruments de précision et d'appareils électromédicaux, électrologie, radiologie, etc.*, 17, rue Maurice-Mayer, à Paris, 13^e.

Liagre (Charles-Fernand), Ingénieur à la *Société nouvelle de l'Accumulateur Fulmen*, 82, rue du Château, à Asnières (Seine).

Liénard (Alfred-Marie), Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 16, rue Stanislas, à Paris, 6^e.

Limb (Claudius), Docteur ès Sciences, Ingénieur-Conseil électricien, Professeur à l'École Centrale Lyonnaise, 11, quai de l'Archevêché, à Lyon (Rhône).

Limousin, Ingénieur du Service électrique de la *Compagnie du Gaz de Tours*, 3, rue d'Entraigues, à Tours (Indre-et-Loire).

Lindé (Isidore), Ingénieur électricien, *Morosseika, Maison Leonof*, à Moscou (Russie).

Liouville (L.-A.), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Saint-Germain par Corbeil (Seine-et-Oise).

Lippmann (G.), Membre de l'Institut, Professeur à la *Faculté des Sciences*, 10, rue de l'Éperon, à Paris, 6^e.

M. F.

- Litschgi** (Charles), Ingénieur de la *Société Brown Boverie et C^{ie}*, Villa Mon Désir, à Ennet-Baden (Suisse).
- Locherer** (Jacques-Joseph-Auguste), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 45, rue Ampère, à Paris, 17^e.
- Lodyguine** (Alexandre de), Ingénieur électricien honoraire de l'*Institut électrotechnique de Saint-Petersbourg*, Podoroge v Sosnofku Dacha, N^o 8, Lessnoe, à Saint-Petersbourg (Russie).
- Loménie** (Charles de), Administrateur de la *Compagnie française pour l'exploitation des Procédés Thomson-Houston*, 92, rue Miromesnil, à Paris, 8^e.
- Lompagen** (Victor), Directeur de l'*Usine électrique de Puteaux, Société anonyme Westinghouse*, 45, boulevard de la République, à la Garenne-Colombes (Seine).
- Loppé** (François), Ingénieur des Arts et Manufactures, 240, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Lorain**, Ingénieur des Télégraphes, 18, rue de Staël, à Paris, 15^e.
- Loreau** (A.), Ingénieur et Conseiller général du Loiret, aux Roches, par Briare (Loiret).
- Lorfeuvre** (Maurice), Ingénieur à l'*Est-Lumière*, 21, rue de Belfort, à Vincennes (Seine).
- Lorin** (Charles-Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 21, avenue de Tourville, à Paris, 7^e.
- Loudrier** (Antonin), Ingénieur au *Sud électrique*, à Avignon (Vaucluse).
- Louis** (Charles-Raoul-Joseph), Ingénieur électrométallurgiste, à Pierrefitte-Nestalas (Hautes-Pyrénées).
- Lourme**, Directeur général des Postes et des Télégraphes de l'Indo-Chine, en retraite, à Sainte-Foy-la-Grande (Gironde). M. F.
- Louvrier** (Francis), Ingénieur électricien mécanicien, 1211, Calle Ramon Guzman, à Mexico (Mexique).
- Lucas** (Félix), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 30, rue Boissière, à Paris, 16^e. M. F.
- Luszczkiewicz** (Jean-Louis-François), Chef de l'Exploitation de la *Compagnie générale de distribution d'Énergie électrique*, 1, Lices du Sud, à Albi (Tarn).
- Lynch** (Arthur), Ingénieur civil, Docteur en médecine, 34, Dalebury Road, à Londres W. (Angleterre).
- Lyon** (Gustave-Frantz), Directeur gérant de la *Société Pleyel, Wolff, Lyon et C^{ie}*, 22, rue Rochechouart, à Paris, 9^e.
- Lyon** (Max), Ingénieur, 83, avenue du Bois-de-Boulogne, à Paris, 16^e. M. F.
- Machelard** (Paul-Maurice-André), 25, rue du Général-Foy, à Paris, 8^e.
- Macquet** (A.), Ingénieur au Corps des Mines, Professeur de Physique et d'Électricité, Directeur de l'*École des Mines et Faculté polytechnique du Hainaut*, 40, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).
- Madariaga** (José-Maria), Professeur d'Électrotechnique à l'*École des Ingénieurs des Mines de Madrid*. Membre de l'*Académie royale des Sciences de Madrid*, 18, rue Zurbano, à Madrid (Espagne).
- Madeline** (Maurice), Capitaine d'Artillerie au Ministère de la Guerre, 14, rue Rosa Bonheur, à Paris, 15^e.
- Magunna** (H.-C.), Ingénieur à la *Société des Télégraphes Multiplex* (système E. Mercadier), Attaché au *Laboratoire de physique de M. Mercadier*, 113-115, rue du Cherche-Midi, à Paris, 6^e.

- Mahoudeau** (Jacques), Licencié ès Sciences, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur à la *Compagnie de Fives-Lille*, 5, rue Mizon, à Paris, 15°.
- Mailloux** (C.-O.), Ingénieur électricien-Conseil, 76, William Street, à New-York (U. S. A.).
- Mailly** (Paul-Marc), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, à Villafranca in Lunigiana (Italie).
- Mainguenaud** (Pierre-Jean-Claude), Capitaine d'Artillerie au 19^e *régiment d'Artillerie*, à Nîmes (Gard).
- Maisonneuve** (Similien-François), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur-Conseil, 6, rue Voltaire, à Nantes (Loire-Inférieure). M. F. M. P.
- Maiuri** (Guy), Ingénieur-Conseil, 1, via Canova, à Milan (Italie).
- Malandrin** (Jacques-Henri-Joseph), Ingénieur au *Bureau technique de l'Électricité. Office d'Ingénieurs-conseils*, 96, rue La Fontaine, à Paris, 16°.
- Malassis de la Cussonnière** (René-Marie), Château de la Remblière, à Cuissai, par Alençon (Orne).
- Malaussène** (Albert, **Alziari de**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Service électrique à la *Compagnie du gaz (Compagnie Lebon)*, 11, rue Saint-Denis, à Oran (Algérie).
- Maljournal et Bourron**, Constructeurs électriciens, 128, avenue Thiers, à Lyon (Rhône).
- Mambret** (Georges), Ingénieur des Télégraphes, Constructeur d'instruments de précision, 25, rue de la Montagne-Sainte-Genève, à Paris, 5°.
- Manaut** (Georges-André-G.), Ingénieur électricien, 9, rue Mogador, à Paris, 9°.
- Mandin** (Alexis-Jean-Louis), Ingénieur à la *Société d'Énergie électrique du Littoral méditerranéen (Usine de la Brillanne)*, à Manosque (Basses-Alpes).
- Manescan** (Louis), Ingénieur de l'*Énergie électrique du littoral Méditerranéen*, 38 bis, Grand Chemin de Toulon, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Maquaire** (F.-V.), Ingénieur-Conseil, *Applications générales de la Mécanique et de l'Électricité. Instruments de précision*, 101, rue de Vaugirard, à Paris, 6°.
- Marcandier** (Marcel-Louis-Alexandre), Ingénieur, *Usine des Clavaux* par Rioupéroux (Isère).
- Marchand et Dreyfus**, Dépositaires du *Creusot*, 15 bis, rue de Buffon, à Paris, 5°.
- Marchena (de)**, Ingénieur en chef de la *Compagnie française Thomson-Houston*, Administrateur des Sociétés *Énergie électrique du Littoral méditerranéen* et *Énergie électrique du Sud-Ouest*. Bureau : 10, rue de Londres, à Paris, 9°. Domicile : 3, rue Meissonier, à Paris, 17°.
- Marec** (Eugène), Chef d'Atelier à l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue de Staël, à Paris, 15°.
- Maréchal** (Charles), Ingénieur, Directeur des Services électriques à la *Compagnie du gaz de Lyon*, 12, place Carnot, à Lyon (Rhône).
- Maréchal** (Charles-Louis), Ingénieur, Directeur de l'Exploitation de la *Compagnie du Tramway de Grenoble à Champarcillan*, 18, quai Xavier-Jouvin, à Grenoble (Isère).
- Maréchal** (Henri), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré, à Paris, 8°.
- Marget** (Edmond-Marie-Adolphe), Capitaine d'Artillerie coloniale, Direction d'Artillerie navale, à Brest (Finistère). M. P.
- Mariage** (Jules), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Laboratoire au *Secteur de la rive gauche*, 30, rue Péclet, à Paris, 15°.

- Mariage** (Léon-André), Ingénieur en chef des services techniques de la *Compagnie générale des Omnibus*, 69, boulevard Pasteur, à Paris, 15^e.
- Marie** (Georges), Ingénieur *Société Mors*, 23, rue Poussin, à Paris, 16^e.
- Marie de Chastenay** (Pierre), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur des Services électriques de la *Société anonyme d'Éclairage de la ville de Clermont-Ferrand*, 9, rue de Châteaudun à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme).
- Marks** (Louis-B.), M. M. E., 103, Park Avenue, à New-York City (États-Unis).
- Marqueyrol** (Marius-Daniel), Ingénieur des Poudres et Salpêtres, du *Laboratoire des Poudres et Salpêtres*, 11, rue de l'Arsenal, à Paris, 4^e.
- Marsalès** (Paul-Jean-Joseph), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur E. S. E. P., Directeur de la *Société d'Éclairage et de Force motrice de Brive*, à Brive (Corrèze).
- Marshall** (Nusserwauji Maneckshaw), Electric Light et Power Contractor et Engineer, Esplanade Road, à Bombay (Indes).
- Martel** (Casimir), Ingénieur aux *Mines de Phosphates de Logrosan*, à Logrosan (province de Cacérès) (Espagne).
- Martin** (Gaston-Charles-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur du Service électrique de la *Compagnie centrale d'Éclairage par le gaz*, au Caire (Égypte).
- Martin** (Jean-Louis-Pierre-Gabriel), Ingénieur électricien, 18, rue de Staël, à Paris, 15^e.
- Martin** (René-Jean-Marie), Ingénieur des Arts et Manufactures, Représentant des *Ateliers Thomson-Houston* de Paris à la *General Electric Co*, 8, Union Street (Schenectady), à New-York (U. S. A.).
- Marting** (Émil-P.-L.), Ingénieur, 10, calle Navas de Tolosa, à La Carolina (Jaën) (Espagne).
- Martiny** (Joseph-Albert), Ingénieur du service électrique de la *Société du Gaz et de l'Électricité de Nice*, 4, rue Deloye, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Mascart** (Charles), Ancien Ingénieur des Ponts et Chaussées, 29, rue de Berlin, à Paris, 8^e.
- Mascart** (Léon-François), Directeur de la *Société des établissements Henry Lepaute*, 5, rue Margueritte, à Paris, 17^e.
- Masó Escubós** (Enrique), Ingénieur électricien, Directeur de la *Centrale électrique de Martorell*, Rambla Estudios, 3, 2^e, 1^a, à Barcelone (Espagne).
- Massey** (William-Henry), M. Inst. C. E., Ingénieur à la Cour de Sa Majesté Britannique, Twyford R. S. O. Berks (Angleterre). M. F. M. P.
- Masson** (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, 42, rue Jacob, à Paris, 6^e.
- Masson** (Léon-Noël), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur en congé hors cadre au *Conservatoire national des Arts et Métiers*, Expert près les Tribunaux de la Seine, 22, rue Alphonse-de-Neuville, à Paris, 16^e.
- Mathieu** (Camillo-Nicolas), Licencié ès Sciences, Ingénieur électricien (E. S. E. P.), Ingénieur à la *Société Siemens Brothers*, 68, Harwood Road Fulham, à Londres (Angleterre).
- Mathieu** (Émile-Léopold), Directeur d'*usines à gaz*, à Menin (Belgique).
- Mathieu** (Paul-Hyacinthe), Ingénieur électricien, Professeur de physique, Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 3, rue Vauquelin, à Paris, 5^e.
- Matty** (Louis-Ferdinand), de la *Maison Pinson et Matty*, Ingénieur-Conseil, casier postal Apartado 908, à Mexico (Mexique).

- Mauduit** (Alexandre-Maurice-Julien), Ingénieur électricien, 25, place de la Carrière, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Maugas** (Gabriel-Émile-Marie), Ingénieur en chef de la Marine, 15, rue Gustave-Zédé, à Paris, 16^e.
- Maunoury**, Avocat à la Cour d'appel, 67, rue La Boétie, à Paris, 8^e.
- Mayer** (Nathan-H.-Paul), Ingénieur électricien, 8 *bis*, rue de Lisbonne, à Paris, 8^e.
- Mazen** (Antoine-Natalis), Ingénieur des Services électriques des *Chemins de fer de l'Ouest*, 35, rue Magenta, à Asnières (Seine).
- Mehmed-Emin** (Ben-Ali), Ingénieur des Télégraphes Ottomans, Professeur de Mathématiques à l'*École Normale supérieure de Constantinople*, ancien Élève de l'*École supérieure de Télégraphie à Paris*, Chef du Bureau technique des Télégraphes Ottomans, à Constantinople (Turquie).
- Meirelles da Silva** (Lino), Ingénieur, 8, rua da Graca, à Bahia (Brésil). M. P.
- Ménage** (Marcel), Ingénieur à la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*, 108, avenue de Villiers, à Paris, 17^e.
- Menges** (C.-L.-R.-E.), Villa Mar, à Scheveningue (Hollande). M. F.
- Ménier** (Gaston), Sénateur (Secrétariat), 56, rue de Châteaudun, à Paris, 9^e.
- Ménier** (Henri), 8, rue Alfred-de-Vigny, à Paris, 8^e. M. F.
- Mensbrugghé** (Gust. van der), Professeur à l'*Université de Gand*, à Gand (Belgique). M. F.
- Menuau** (Ch.-L.-M.), Capitaine d'Artillerie, 26, rue Ernest-Renan, à Paris, 15^e.
- Mercadier** (E.), Directeur des études de l'*École Polytechnique*, Ingénieur des Télégraphes, 21, rue Descartes, à Paris, 5^e. M. F.
- Mercier** (Ernest-Frédéric), Ingénieur de la Marine, Direction centrale des Constructions navales au *Ministère de la Marine*, 3, rue Le Goff, à Paris, 5^e.
- Mercier** (R.-M.-A.), Ingénieur électricien, 1, rue des Grands-Degrés, à Paris, 15^e.
- Mertz** (F.), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur électricien I. E. G., 2, rue Fantin-Latour, à Grenoble (Isère).
- Messmer** (Alexandre-Jules), Ingénieur électricien, 15, boulevard Davout, à Paris, 20^e.
- Mestre** (Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur du contrôle des *Tramways* et du *Métropolitain de la Ville de Paris*, 11, avenue Victor-Hugo, à Paris, 16^e.
- Meunier** (Gabriel-Séraphin), Ingénieur électricien, à Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône).
- Meunier** (Gustave-Antoine), Ingénieur électricien, Chef des Services électriques et mécaniques de la *Société des Forces hydro-électriques du Cher*, à Montluçon (Allier).
- Meunier** (Paul-Marie), Ingénieur à la *Société des grands travaux de Marseille*, 42, boulevard Doudoukoff, à Sofia (Bulgarie).
- Meunier** (Paul-Pierre), Chef de la *Station électrique de Gothard*, à La Clayette-Baudémont (Saône-et-Loire).
- Mével** (Pierre), Ingénieur à bord du *Pouyer-Quertier*, *Compagnie française des Câbles télégraphiques*, Fort-de-France (Martinique).
- Meyer** (Ferdinand), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Directeur de la *Compagnie continentale Edison*, 28, rue de Châteaudun, à Paris, 9^e.
- Meyer** (Georges), Directeur du Service commercial de la *Compagnie continentale Edison*, 4, boulevard de Courcelles, à Paris, 17^e.
- Meyer** (Marcel), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force*, 40, rue Blanche, à Paris, 9^e.

- Meyer-May** (Albert), ancien Élève de l'École Polytechnique, Directeur des constructions électriques à la *Société industrielle des Téléphones*, 18, avenue Niel, à Paris, 17^e.
- Meynier** (Albert-Joseph-Robert), Ingénieur-Conseil, Professeur d'Électrotechnique à l'*Institut industriel du Nord*, 5, avenue Monceau, à Lille-Saint-Maurice (Nord).
- Micaud** (Georges), Docteur en Droit, Ingénieur à la *Compagnie française Thomson-Houston*, 6, rue d'Alençon, à Paris, 15^e.
- Michaux** (Camille-Laurent), Sous-Directeur de la *Société de l'accumulateur Tudor*, 81, rue Saint-Lazare, à Paris, 9^e.
- Michel** (Auguste-Mario), Administrateur délégué de la *Société d'Électricité Nilmelior*, 10, boulevard Victor-Hugo, à Saint-Germain-en-Laye (Seine-et-Oise).
- Michel** (Charles-Ferdinand), Directeur de la *Compagnie pour la fabrication des compresseurs et matériels d'Usines à gaz*, 16, boulevard de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Michel** (Claude-Léon-Julien), ancien Élève de l'École des Arts et Métiers, Ingénieur du *Syndicat industriel d'Extrême-Orient*, 14, rue des Carrières, à Suresnes (Seine).
- Michel** (Léon-Louis-Henri), Administrateur-Directeur de la *Compagnie générale électrique du Sud-Ouest*, à Blois (Loir-et-Cher).
- Midoz** (Ch.), Constructeur électricien, 8, rue Gambetta, à Besançon (Doubs).
- Miet** (Maurice), Directeur de l'*Usine électrique de Lisbonne*, 27, rua da Boa Vista, à Lisbonne (Portugal).
- Mildé** (Charles), Constructeur électricien, ancien Président du *Syndicat professionnel des Industries électriques*, 60, rue Desrenaudes, à Paris, 17^e.
- Mille** (Joseph), Ingénieur, 70, rue Lamarck, à Paris, 18^e.
- Milon** (Henri-Charles-Cornélius), Ingénieur des Postes et Télégraphes, 4, rue de Puebla, à Lille (Nord).
- Minard** (Julien-Élisée), Ingénieur, Fondé de pouvoirs de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 68, rue Lamarck, à Paris, 18^e.
- Miramont** (Pierre), Ingénieur à la *Compagnie française des Câbles télégraphiques*, 38, avenue de l'Opéra, à Paris, 2^e.
- Mix** (Edgar-W.), Ingénieur en chef aux *Ateliers Thomson-Houston*, 12, boulevard des Invalides, à Paris, 7^e.
- Moineau fils** (H.), Ingénieur, 22, boulevard des Filles-du-Calvaire, à Paris, 11^e. M. F.
- Molera** (E.-J.), Ingénieur civil et Électricien, 2025, rue de Sacramento, à San Francisco (U. S. A.). M. F. M. P.
- Mondange** (Alexandre-Frédéric), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'École supérieure d'Électricité, Ingénieur aux *Usines de la Compagnie générale d'Électrochimie de Bozel*, à Bozel (Savoie).
- Mongin** (Émile-Paul), 3, rue César-Franck, à Paris, 15^e.
- Monmerqué** (A.), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Secrétaire du *Comité permanent d'Électricité au Ministère des Travaux publics*, 19, rue Decamps, à Paris, 16^e. M. P.
- Monnier** (D.), Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 3, impasse Cothenet (22, rue de la Faisanderie), à Paris, 16^e. M. F.
- Montès** (Henri), Ingénieur, 1, rue Littré, à Alger (Algérie).
- Monthiers** (Maurice), ex-Chef du *Service de la Section française à l'Exposition universelle de 1889*, 50, rue Ampère, à Paris, 17^e. M. F.
- Montpellier** (J.), Rédacteur en chef de l'*Électricien*, 130, rue Lecourbe, à Paris, 15^e.

Moreau (J.-D.-A.), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur de la *Société l'Éclairage électrique*, 12, rue d'Édimbourg, à Paris, 8^e.

Morel (Charles), Attaché au Cabinet d'Ingénieur civil de *M. P. Germain*, 22, rue Malouet, à Rouen (Seine-Inférieure).

Morel-Fatio (Léon), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rond-point de Long-champs, à Paris, 16^e.

Moreno (O.), Directeur de la *Société nationale des Ateliers de Savigliano*, 40, rue Venti Settembre, à Turin (Italie).

Mors (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, 8, rue des Marronniers, à Paris, 16^e. M. F.

Mortureux (Louis), Ingénieur, 11, rue de la Charrue, à Dijon (Côte-d'Or).

Morwitz (Joachim-Hans), Ingénieur électricien, Chef du Laboratoire de la *Compagnie générale de Radiogrammes et d'Applications électriques*, 10, rue Guersant, à Paris, 17^e.

Moskalew (Wladimir-Leonidowich), Ingénieur en Technologie, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Nicolaïevskaïa, 70, à Saint-Petersbourg (Russie).

Mossé (Edgar), Ingénieur des Arts et Manufactures, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, représentant de la *Compagnie générale d'Électricité de Creil*, 36, rue Faidherbe, à Lille (Nord).

Motin (Édouard-Maurice), 13, rue d'Alger à Nantes (Loire-Inférieure).

Mottet (Joseph), Propriétaire-Directeur de la *Station hydro-électrique*, à Saint-Martin-Vésubie (Alpes-Maritimes).

Mouchard (Lucien-Louis-Victor), Directeur de la *Compagnie du Gaz et des Eaux*, à Tunis (Tunisie).

Moulin (Marcel-André), Chef des Travaux pratiques à l'*École de Physique et de Chimie*, 303, rue du Faubourg Saint-Antoine, à Paris, 11^e. M. P.

Moulton (John-Fletcher), Q. C.; F. R. S., 57, Onslow square, London S. W. (Angleterre). M. F. M. P.

Mousset (Émile), Président de la *Société des Élèves Industriels de France*, 22, rue du Champs-de-Mars, à Paris, 7^e.

Mustelier (François-Joseph), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Directeur de la *Société d'Exploitations minières en Serbie*, à Neresnitza, par Koutchevo (Serbie).

Mychencov (Constantin), Ingénieur des Chemins de fer russes, à Krasny-Holm, gouvernement de Twer (Russie).

Naeayer et C^{ie} (de), à Willebrœck (Belgique). M. F.

Nansouty (Max-C. E. Champion de), Ingénieur des Arts et Manufactures, 67, avenue Flachet, à Asnières (Seine). M. F.

Nathan (Georges-André), Ingénieur des Arts et Manufactures, 5, rue Valentin-Haüy, à Paris, 15^e.

Nebinger (Jean-Baptiste), Ingénieur des travaux du jour aux Mines d'Azincourt de la *Société de Denain et d'Anzin*, à Manchecourt (Nord).

Nédeff (Nedeltocho), Officier de Marine, à Varna (Bulgarie).

Néel (Auguste-Jean-Henri), Ingénieur à la *Société normande de Gaz, Électricité et Eau à Touques*, route de Pont-l'Évêque, à Trouville (Calvados).

- Nègre** (Florentin-Alfred-Célestin), Ingénieur électricien, Chargé de conférences techniques et Chef de travaux à l'*Institut électrotechnique*, 1, rue des Fleurs, à Lille (Nord).
- Negreano** (D.), Professeur à la *Faculté des Sciences*, 21, rue Anton-Panu, à Bucarest (Roumanie).
- Négrîé** (Jacques), 8, rue Valentin-Haüy, à Paris, 15°.
- Nelson-Uhry** (Emmanuel), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, et de l'*École supérieure d'Électricité*, Ingénieur de la *Société anonyme Westinghouse*, 10 bis, avenue de la Grande-Armée, à Paris, 17°.
- Néré** (Georges-Clément-Patrice), Professeur à l'*École industrielle de Brest*, 21, rue Amiral-Linois, à Brest (Finistère).
- Nerville** (Ferdinand de), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu, à Paris, 8°.
M. P.
- Neu** (L.), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur-Conseil, 94, rue du Ran-elagh, à Paris, 16°.
- Neufeld** (Ladislav), Licencié ès Sciences mathématiques, 18, rue Ernest-Renan, à Paris, 15°.
- Neveux** (Joseph-Marie-Victor), Ingénieur des Arts et Manufactures, 27, rue des Canus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).
- Nicol** (Jules-Vincent-Théodore), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 7, rue de Vaugirard, à Paris, 6°.
- Nicolaidi** (Constantin), Administrateur délégué de la *Compagnie hellénique d'électricité Thomson-Houston*, Administrateur de la *Compagnie des tramways d'Athènes et du Pirée*, 7, rue Néophyte Vamva, à Athènes (Grèce).
- Nicolas** (Pierre-Louis), Ingénieur-Conseil, Directeur du *Bureau technique de l'Électricité*, 15, rue de la Pépinière, à Paris, 8°.
- Nicolini** (Eugène), Directeur de la *Société générale d'Électricité de Paris*, usine de Saint-Denis, 25, boulevard Malesherbes, à Paris, 8°.
- Niethammer** (Friedrich-Georg), Ingénieur électricien, Professeur de la *Technische Hochschule*, à Brünn (Autriche).
- Nikolsky** (Alexandre de), Sous-Chef du Laboratoire électrique de la *Société française d'Incandescence par le gaz*, 116, rue Victor-Hugo, à Levallois-Perret (Seine).
- Nissou** (Alfred), Ingénieur, Directeur de l'Agence de la *Société de l'Accumulateur Tudor de Lyon*, 106, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Lyon (Rhône).
- Nissou** (Guillaume), Ingénieur des Arts et Manufactures, 11, rue Cavalotti, à Paris, 18°.
- Nivet** (Louis-Alphonse-Paul), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Lieutenant de vaisseau, commandant le sous-marin *Rubis*, à Cherbourg (Manche).
- Noé** (Charles-François), Constructeur d'instruments de Physique, 8, rue Berthollet, à Paris, 5°.
M. F.
- Noellet** (Paul-Louis-Henri), Ingénieur électricien, 52, avenue Parmentier, à Paris, 11°.
- Nonguier** (L.-A. Mage dit), Ingénieur au *Sud électrique*, 4, rue Velouterie, à Avignon (Vaucluse).
- Nouvelle** (Georges), Ingénieur civil, 25, rue Brézin, à Paris, 14°.
M. F.
- Nuchèze** (Henry de), Ingénieur électricien, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Attaché à la *Société l'Éclairage électrique*, 364, rue Lecourbe, à Paris, 15°.
- Nugues** (Léon-Auguste-Émile), Ingénieur des Arts et Manufactures, Maître de Confé-

- rences d'Électricité à l'*École centrale des Arts et Manufactures*, Les Camélias, rue Émile-Deschamps, à Versailles (Seine-et-Oise).
- Nury** (Jean), Ingénieur en chef à la *Westinghouse Electric Company Limited*, 4, rue Auber, à Paris, 9^e.
- Odent** (Marie-Albert), Sanitary Department, à Bangkok (Siam).
- Ohdatchi** (Gentaro), Mécanicien chef de la Marine japonaise, suiko-sha IV Tesuki-ji, à Tokio (Japon). M. P.
- O'Keenan** (Charles-Édouard), Ingénieur, Chef du Laboratoire électrique de la *Compagnie parisienne de l'air comprimé*, les Grands-Champs, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise). M. F.
- Olivier** (Georges-Basile), Directeur-Administrateur, Délégué de la Société anonyme *La Gallo-Roumaine* pour l'Industrie du pétrole en Roumanie, 4, boulevard de l'Académie, à Bucarest (Roumanie).
- Ollivier** (Ernest), Ancien élève de l'*École pratique d'Électricité industrielle* et de l'*École supérieure d'Électricité*, 77, rue Sylvabelle, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Opechowski** (Édouard), Ingénieur à la *Compagnie d'Électricité de Varsovie*, 11, rue Foksal, à Varsovie (Russie).
- Orain** (André), 45, rue des Lices, à Angers (Maine-et-Loire).
- Oraw** (Juhan), Ingénieur du domaine Gr.-Judeiki, Pikeli, Gouvernement de Kovno (Russie).
- Ordinaire** (Jean-Eugène), 3, rue de la République, à Saint-Mandé (Seine). M. P.
- Ortmans** (Jean), Ingénieur à la *Société anonyme de Saint-Léonard*, 20, rue Sainte-Marie, à Liège (Belgique).
- Oudot** (René), Ingénieur aux *Ateliers de construction de l'Artillerie de Puteaux*, 28, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Pagès** (Alexandre-Gustave), Directeur technique de l'*Usine électrochimique*, à San-Quirico de Besora, province de Barcelone (Espagne).
- Pailleret** (Jean-Joseph), Ingénieur des Constructions civiles, Ingénieur au Service de la Voie, à Mont-Louis (Pyrénées-Orientales).
- Paiva** (Adrien de), Comte de Campo-Bello, Pair de Portugal, Professeur, Membre de l'*Académie royale des Sciences de Lisbonne*, etc., au château de Campo-Bello, à Gaya, près de Porto (Portugal). M. F. M. P.
- Pallier** (Félix), Ingénieur, 36, rue de Dunkerque, à Paris, 10^e.
- Pallièrre** (Antoine), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Société de Construction électrique*, Agence des *Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est*, 67, rue Molière, à Lyon (Rhône).
- Panine** (Wladimir), Ingénieur électricien, à Rostow-sur-le-Don (Russie).
- Papillon** (D^r), Professeur de clinique médicale, 8, rue Montalivet, à Paris, 8^e. M. F. M. P.
- Paraf** (François-Michel-Jean), Directeur de la *Société d'énergie électrique du Sud-Ouest*, 33, rue Condorcet, à Paris, 9^e.
- Parent** (Louis), Architecte, 20, boulevard des Invalides, à Paris, 7^e.
- Parisse** (Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi, à Paris, 11^e. M. F.

- Parodi** (Hippolyte), Ingénieur des Services électriques à la *Compagnie des Chemins de fer d'Orléans*, 141, quai d'Orsay, à Paris, 7^e.
- Parsons** (Frederic-Jennings), Sous-Directeur de la *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, 10, rue de Londres, à Paris, 9^e.
- Parvillée** (Achille), Ingénieur-Constructeur, 67, rue d'Amsterdam, à Paris, 8^e.
- Parvillée** (Louis), Ingénieur-Constructeur, 67, rue d'Amsterdam, à Paris, 8^e.
- Paszkowski** (Henri), Ingénieur civil, 8, rue d'Aragon, à Narbonne (Aude).
- Pataud** (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, Inspecteur du matériel et de la traction de la *Compagnie de l'Ouest*, chargé de la 1^{re} division électrique du matériel, 15, rue de la Fédération, à Paris, 15^e.
- Patot** (Henri), Licencié ès Sciences, Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 3, rue du Cher, à Paris, 20^e.
- Paty de Clam** (E.-M. Michel du), Enseigne de vaisseau, 1, rue de l'Alma, à Cherbourg (Manche).
- Paulin** (Charles), Ingénieur de la *Maison Bardon*, 77, boulevard National, à Clichy (Seine).
- Paulmier** (Abel-Marie-Charles), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Professeur de l'Enseignement technique, chargé du contrôle technique des distributions d'énergie électrique de la Ville et de l'État, 112, rue Beaurepaire, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
- Paumier** (Georges), Ingénieur électricien, aux *Mines d'Aniche*, boulevard National, à Aniche (Nord).
- Pavie** (Georges-Louis), Ingénieur à la *Compagnie générale de distribution d'énergie électrique*, 5, avenue des Écoles, à Vitry-sur-Seine (Seine).
- Pech** (Lucien-Denis), Ingénieur-Conseil, 25, rue du Drogmanat, à Péra (Constantinople) (Turquie).
- Pellat** (Henri), Professeur à la *Faculté des Sciences de Paris*, Président de la *Société Internationale des Électriciens*, 23, avenue de l'Observatoire, à Paris, 6^e. M. F.
- Pereire** (Gustave), Administrateur des *Chemins de fer du Nord de l'Espagne*, 35, rue du Faubourg-Saint-Honoré, à Paris, 8^e.
- Péridier** (Julien), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur à l'*Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, villa Clémentine, à Toulon (Var).
- Périn** (Louis), Ingénieur chimiste, 2, rue Guichard, à Paris, 16^e.
- Pernot** (Paul), Directeur de la station électrique du Rudlin, à Fraize (Vosges).
- Pérot** (Alfred), 16, avenue Bugeaud, à Paris, 16^e.
- Pérouse** (Denis), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, en retraite, Président du Conseil d'Administration de la *Maison Breguet*, 40, quai de Billy à Paris, 16^e. M. F.
- Péroux** (Étienne), Capitaine d'Infanterie de Marine, en retraite, 11, rue des Canus, à Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise).
- Perreau** (François), Professeur de Physique à l'*Université de Besançon*, à Besançon (Doubs).
- Perret** (Joseph), Ingénieur électricien, aux ateliers de *Constructions électriques*, à Jeumont (Nord).
- Perrier** (René), Ingénieur à la *Société Gramme*, 76, rue Botzaris, à Paris, 19^e.
- Perrin** (André-Georges-Louis), *Maison Herment*, quai Vallet, à Belfort (Haut-Rhin).
- Perrin** (Marie-Jacques), Lieutenant d'Artillerie, 11, rue de la Loire, à Saint-Étienne (Loire).

- Perrin** (Paul), Ingénieur, 52, rue Saint-Louis-en-l'Île, à Paris, 4^e.
- Pesex** (Lucien), Ingénieur électricien à l'*A. E. G.*, 64, Hattenstrasse, à Berlin (Allemagne).
- Petit** (Amédée-Édouard), Ingénieur à la *Société Lethimonnier et Cie* (applications de l'électricité), 19, rue Leverrier, à Paris, 6^e.
- Petit** (Gaston-Émile), Ingénieur des Télégraphes, Chef du service de la Télégraphie sans fil, 205, boulevard Raspail, à Paris, 14^e.
- Petit** (Georges), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en chef, Chargé des Services de construction et d'essais des Turbines à vapeur Brown Boveri Parsons à la *Compagnie électro-mécanique*, 183 bis, rue du Faubourg-Poissonnière, à Paris, 9^e.
- Petit** (Joseph-Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur délégué de l'*Onnium lyonnais de Chemins de fer et Tramways*, 41, rue Saint-Pétersbourg, à Paris, 8^e.
- Petit** (Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur chez *MM. Schneider et Cie*, 42, rue d'Anjou, à Paris, 8^e.
- Petitalot** (Louis), Ingénieur chez *M. Gin*, 29 bis, avenue de La Motte-Picquet, à Paris, 7^e.
- Petit-Dupont**, Industriel, à Cambrai (Nord). M. F. M. P.
- Pétropoulos** (Georges), Lieutenant d'Artillerie, 5, rue Tsacalof, à Athènes (Grèce).
- Petsche** (Albert), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur de la *Société lyonnaise des Eaux et de l'Éclairage*, 73, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e.
- Peyré** (Gaston), Ingénieur-Constructeur, 204, rue Saint-Maur, à Paris, 10^e.
- Phasmann** (Auguste), Conseiller général de la Meuse, à Saint-Mihiel (Meuse).
- Piat** (Albert), 85, rue Saint-Maur, à Paris, 11^e. M. F.
- Picard** (Joseph-Louis), Lieutenant de vaisseau, commandant l'*Otarie*, flottille des Sous-Marins, à La Pallice (Charente-Inférieure).
- Picard** (Pierre), Inspecteur des Télégraphes, 92, rue du Chemin-de-Fer, à Massy (Seine-et-Oise). M. F.
- Pichery** (Lucien), Ingénieur, Propriétaire de l'Ardoisière *la Renaissance*, 7, boulevard Daviers, à Angers (Maine-et-Loire).
- Pichon** (Georges), Ingénieur à la *Société des Ateliers électriques de Saint-Ouen*, 61, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Picot** (Pierre-Marie-René), Licencié ès Sciences, 20, avenue Friedland, à Paris, 8^e.
- Picou** (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand, à Paris, 17^e. M. F. M. P.
- Pieper** (H.), Armurerie mécanique, à Liège (Belgique). M. F.
- Pignier** (Paul), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 20, rue Pauquet, à Paris, 16^e.
- Pilleux** (Ludovic), Électricien, villa d'Alésia, n° 5, 111 ter, rue d'Alésia, à Paris, 14^e. M. F.
- Pillier** (Lyonel-Léon), Ingénieur de la *Maison Chauvin et Arnoux*, 186, rue Championnet, à Paris, 18^e.
- Piltschikoff** (Nicolas), Professeur de Physique à l'*Institut technique* à Kharkow (Russie). M. P.
- Pinet** (Étienne), Sous-Ingénieur des *Canalisations électriques de la Compagnie O. T. L.*, 39, rue Condé, à Lyon (Rhône).
- Pinson** (Émile), de la *Maison Pinson et Matty*, Ingénieur-Conseil, casier postal, Apartado, 908, à Mexico (Mexique).

- Pionchon** (Joseph), Chargé de cours de Physique à la *Faculté des Sciences de Dijon*, 16, rue Berlier, à Dijon (Côte-d'Or).
- Pirani** (Émile), Docteur ès Sciences, Fondé de pouvoirs de la *Société alsacienne de constructions mécaniques*, 92, rue Mozart, à Paris, 16^e.
- Piroëlle** (Marcel), 45, boulevard du Montparnasse, à Paris, 6^e.
- Pistoye** (Henri-Sigismond-Alphonse-Louis-Marie **de**), Ingénieur E. C. P., Ingénieur de la Société l'*Éclairage électrique*, 9, rue de Sontay, à Paris, 16^e. M. P.
- Planchon** (François-Jean), Ingénieur des Arts et Manufactures, 111, rue Caulaincourt, à Paris, 18^e.
- Plisson** (Joseph-Jean), Ingénieur électricien E. S. E., Directeur général de la *Société Indo-Chinoise d'Électricité, Usine des Eaux*, à Saïgon (Indo-Chine).
- Ployart** (Louis-Robert), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la *Société des marbres de l'Ouest*, à Laval (Mayenne).
- Poggi** (André-Léon), 44, boulevard des Lices, à Arles (Bouches-du-Rhône).
- Poincaré** (Lucien), Docteur ès Sciences, Inspecteur général de l'Instruction publique, 130, rue de Rennes, à Paris, 6^e. M. P.
- Poirier** (Marius), 13, rue d'Enghien, à Lyon (Rhône). M. F.
- Poirson** (Eugène-Jean-Félix), Ingénieur électricien, 23, avenue de Vizille, à Grenoble (Isère).
- Polack** (Raoul), 7 *bis*, rue de Villejust, à Paris, 16^e.
- Polack** (Siméon), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques, 3, rue de l'Estapade, à Paris, 5^e.
- Polignac** (prince Camille **de**), Château de Podwein, Radmannsdorf (Autriche). M. F. M. P.
- Pollak** (Antoine), Directeur technique de la *Société générale de Télégraphie rapide (Pollak et Virag)*, 7, avenue du Coq, à Paris, 9^e.
- Pollard** (Jules), Directeur du Génie maritime, 8, rue de Berri, à Paris, 8^e.
- Pomey** (Jean-Baptiste), Ingénieur des Télégraphes, 140, boulevard Raspail, à Paris, 6^e.
- Poncet** (René-Gabriel), Ingénieur à la *Société d'études spéciales et d'installations industrielles*, 87, rue Taitbout, à Paris, 9^e.
- Poncharra** (Fernand **de**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 30, rue de la Plaine, à Garches (Seine-et-Oise).
- Popp** (Victor), Président de la *Compagnie des Radiogrammes et Applications électriques*, Président de la *Société française des Constructions et Travaux publics*, 21, place de la Madeleine, à Paris, 8^e.
- Pornin** (Robert), Ingénieur civil des Mines, Ingénieur au *Métropolitain de Paris*, 162, boulevard Magenta, à Paris, 10^e.
- Porte** (L.), 9, rue Ancelle, à Neuilly-sur-Seine (Seine). M. F.
- Postel-Vinay** (A.), 10, place Saint-François-Xavier, à Paris, 7^e. M. F.
- Poujol** (Lucien), Directeur de la *Compagnie d'Électricité de Marseille*, 61, boulevard Périer, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Poulenc** (Camillo), Docteur ès Sciences, 92, rue Vieille-du-Temple, à Paris, 4^e.
- Poussif** (Georges-Gaston), 103, avenue de la République, à Paris, 11^e.
- Prat** (Fernand), Ingénieur, 15, rue Pétrarque, à Paris, 16^e.
- Pravaz** (Henri), Ingénieur à la *Société l'Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 343, rue de Paradis, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

- Preece** (William-Henry), F. R. S., M. Inst. C. E., Gothic-Lodge, Wimbledon Surrey (Angleterre). M. F.
- Prève** (Laurent), 4, rue Dante, à Nico (Alpes-Maritimes). M. F.
- Prez-Crassier** (Jean de), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Attaché à la *Compagnie du Chemin de fer du Nord*, 15, rue de Mademoiselle, à Versailles (Seine-et-Oise).
- Priestley** (Charles-Marie-Édouard), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Gérant de la *Société Vedovelli, Priestley et C^{ie}*, 160, rue Saint-Charles, à Paris, 15^e.
- Priluker** (Jacob), Ingénieur (E. P. M.) et (E. S. E. P.), Ingénieur à la *Siemens Schukert Aërke*, 58, Bluchertrasse, à Berlin S. (Allemagne).
- Proctor** (C.-Faraday), M. I. E. E., Ingénieur, South Benwell Werks, à Newcastle-on-Tyne (Angleterre).
- Provensal**, Capitaine de frégate, 6, rue Picot, à Toulon (Var).
- Prual** (Félix), 4, rue d'Odessa, à Paris, 14^e.
- Quiroga** (Patricio), Ingénieur en mission du *Gouvernement Chilien*, 12, rue Blomet, à Paris, 15^e.
- Racapé** (A.-Louis), Licencié ès Sciences, Mathématiques et Physique générale, Ingénieur électricien, 28, rue de Miromesnil, à Paris, 8^e.
- Ragonot** (Edmond), Ingénieur électricien, 12, quai de la Rapée, à Paris, 12^e.
- Rambeaud** (René), 4, Grande-Rue, à Parthenay (Deux-Sèvres). M. F.
- Randier** (Pierre-Antoine), 90, rue Saint-Maur, à Paris, 11^e.
- Raoux** (Léon), Ingénieur civil, 13, avenue Louis-Ruchonnet, à Lausanne (Suisse). M. F.
- Rateau** (Auguste-Camille-Edmond), Ingénieur au Corps des Mines, Professeur à l'*École supérieure des Mines*, 20, rue d'Anjou, à Paris, 8^e.
- Rau** (Louis), Administrateur de la *Compagnie continentale Edison*, Président du Conseil d'Administration de la *Société nouvelle des Mines de Rong-Miü*, 7, rue Montchanin, à Paris, 17^e. M. F.
- Raveau** (Camille), Physicien au Laboratoire d'essais du *Conservatoire national des Arts et Métiers*, 61, boulevard Sébastopol, à Paris, 1^{er}.
- Ravut** (Camille-Louis), Ingénieur des Postes et Télégraphes, 5, rue Mora, à Enghien-les-Bains (Seine-et-Oise).
- Raymond** (L.), Administrateur honoraire des Postes et des Télégraphes, 36, rue Washington, à Paris, 8^e.
- Raymond** (René-Jean), Ingénieur à la *Compagnie parisienne de distribution d'électricité*, 68, rue de l'Aqueduc, à Paris, 10^e.
- Raynal** (Léon-Jean-Marius), Ingénieur des Télégraphes, 5, rue de la Mauvendièrre, à Limoges (Haute-Vienne).
- Razet** (Jean-Pierre), Ingénieur physicien, *Usine du Radium*, 46, boulevard de Champigny, à Nogent-sur-Marne (Seine).
- Reboul** (Armand-Paul), Chef du Service électrique à la *Compagnie des Phosphates et du Chemin de fer de Gafsa*, à Sfax (Tunisie).
- Rechniewski** (W.-C.), Ingénieur, 1, avenue de l'Alma, à Paris, 16^e.
- Recklinghausen** (Max de), Ingénieur en chef de la *Cooper Hewitt Electric Co*, New-York, 4, rue Auber, à Paris, 9^e.

- Reclus** (Armand), 91, rue de Monceau, à Paris, 8°.
- Redon** (Louis-Paul-Marie-Joseph), Capitaine du Génie, *Établissement central du Matériel de la Télégraphie militaire*, 3 ter, rue des Rosiers, à Paris, 4°.
- Reiss** (Jean), Ingénieur, 85, rue Saint-Lazare, à Paris, 9°.
- Rémon** (Olivier), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur de la *Société franco-suisse pour l'Industrie électrique*, 73, boulevard Haussmann, à Paris, 8°.
- Renard** (Lucien), Ingénieur électricien, Successeur de la *Maison d'Électricité J. Thirel*, 26, rue Rochechouart, à Paris, 9°.
- Renault** (Sigismond), Ingénieur, Directeur chez MM. *Maurice Le Las et Cie*, 82, rue Vaneau, à Paris, 7°.
- Renou** (René), Directeur technique de la *Compagnie Est-Lumière*, quai de Seine, à Alfortville (Seine).
- Renous** (Jean), Ingénieur des Arts et Manufactures, 1, cours du Chapeau-Rouge, à Bordeaux (Gironde).
- Réol** (Georges-Robert), 129, rue de Flandre, à Paris, 19°.
- Réthy** (Oscar), Ingénieur de la *Société Ganz et Cie*, Barossstr 17, III, 20, à Budapest (Hongrie).
- Reumaux** (Élie), Directeur général de la *Société des Mines de Lens*, ancien Président de la *Société des Ingénieurs civils de France*, Président de la *Compagnie électrique du Nord*, Président de la *Compagnie de Halage électrique*, à Lens (Pas-de-Calais).
- Reuss** (Paul), Ingénieur à la *Compagnie française Thomson-Houston*, 9, rue Auguste-Bailly, à Asnières (Seine).
- Revel** (Alfred), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur, Chef du Service de la Traction mécanique de la *Compagnie générale des Omnibus*, 17, Grande rue, à Saint-Mandé (Seine).
- Rey** (Jean-Alexandre), Ingénieur civil des Mines, Gérant de la *Maison Harlé et Cie*, 26, avenue de Suffren, à Paris, 15°.
- Rey** (L.), Ingénieur, 97, boulevard Exelmans, à Paris, 16°. M. F. M. P.
- Reynaud** (Jacques), Licencié ès Sciences, Ingénieur électricien, E. S. E., Secrétaire de la *Société l'Énergie industrielle*, 55, boulevard Montparnasse, à Paris, 6°.
- Reynier** (André), Ingénieur électricien, 81, rue Caulaincourt, à Paris, 18°.
- Reyss** (Jean), 49, boulevard Pereire, à Paris, 17°.
- Ribière** (Charles), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du *Service des Phares*, 1, rue Edmond-About, à Paris, 16°. M. P.
- Riccia** (Angelo della), Ingénieur-Conseil, Administrateur délégué de la *Société d'Électricité de Paris*, 25, boulevard Malesherbes, à Paris, 8°.
- Richard** (André), Ingénieur des Arts et Manufactures, Diplômé de l'École supérieure d'Électricité, 2, place Morand, à Lyon (Rhône).
- Richard** (Félix-Maxime), Ingénieur civil, Arbitre rapporteur au *Tribunal de Commerce*, Expert auprès du *Tribunal civil*, ancien Président de la *Chambre syndicale de l'Automobile*, 61, rue de Rome, à Paris, 8°.
- Richard** (Gustave), Agent général de la *Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, 44, rue de Rennes, à Paris, 6°.
- Richard** (Jules), Ingénieur-Constructeur, 25, rue Melingue, à Paris, 19°.
- Riégel** (Louis), Administrateur délégué de la *Manufacture parisienne d'appareillage électrique*, 14, rue Commines, à Paris, 3°.

- Rieunier** (Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, *Usine électrique des Moulineaux*, à Issy-les-Moulineaux (Seine).
- Rigollot** (Pierre-Claude-Henri), Professeur adjoint à la *Faculté des Sciences de Lyon*, chargé du cours d'électrotechnique générale, Directeur de l'*École Centrale lyonnaise*, 16, rue Chevreul, à Lyon (Rhône).
- Riollé** (Marius), Ingénieur civil, à Romans (Drôme). M. F.
- Rios Cogollos** (José), 43, rue de Douai, à Paris, 9^e.
- Risler** (Théophile), Ingénieur des Arts et Manufactures, 5, rue Cart, à Saint-Mandé (Seine).
- Robard** (René), Ingénieur, Administrateur délégué de la *Compagnie des Tréfleries et Laminoirs du Havre*, 51, rue de Rome, à Paris, 8^e.
- Roberjot** (Henri), Chef des travaux d'Électricité à l'*École supérieure des Mines*, 2, rue Parent, à Montgeron (Seine-et-Oise).
- Robert** (Alexandre-Charlemagne), Ingénieur civil (E.C.P.), *Mécanique, Électricité, chauffage*, Ingénieur-Conseil de l'*Institut Pasteur*, du *Jockey-Club*, 11, rue Andrieux, à Paris, 8^e.
- Robillard** (Gabriel), Chef de Laboratoire aux *Ateliers Thomson-Houston*, 208, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Robin** (Maurice), Capitaine d'Artillerie, avenue des Prés-le-Roy, à Bourges (Cher).
- Robinet** (Léon-Louis), Ingénieur aux *Établissements Harlé et Cie*, 68, rue Damrémont, à Paris, 18^e.
- Rochas** (Jean), Ingénieur des Télégraphes, 1, cours du Midi, à Lyon (Rhône). M. P.
- Rochas** (Victor), Capitaine d'Artillerie, 15, avenue des Ponts, à Lyon (Rhône).
- Roche** (Albert-Paul-François), Sous-Directeur de la *Compagnie du Gaz*, à Biarritz (Basses-Pyrénées).
- Roche** (Camille), ancien Ingénieur de la Marine, Directeur de la *Compagnie de Gaz et d'Électricité de Rennes*, 18, boulevard de la Tour-d'Auvergne, à Rennes (Ille-et-Vilaine).
- Roche** (Gaston), Directeur de l'Usine de la *Société électrique de la lampe Hydra*, 5, rue Gambetta, à Asnières (Seine).
- Roche** (Louis-Edmond-Joseph), Ingénieur électricien, 51, rue de Marseille, à Lyon (Rhône).
- Rochefort-Luçay** (Octave de), Directeur technique du Service d'exploitation des brevets Rochefort pour la Télégraphie sans fil et l'Électricité médicale à la *Société Mors*, 39, rue Cortambert, à Paris, 16^e.
- Rodet** (Joseph-Émile), 49, rue de Vaugirard, à Paris, 6^e.
- Rodier** (Pierre), Ingénieur des Arts et Manufactures, diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Directeur de l'*Usine à gaz et de la Station électrique*, à La Rochelle (Charente-Inférieure).
- Rodocanachi** (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne, à Paris, 8^e. M. F. M. P.
- Roger** (Charles), Administrateur délégué de la *Société électrique d'Éclairage et de Force des Bouches-du-Rhône*, 30, rue Montgrand, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Roger** (Ernest), Ingénieur-Constructeur, de la *Maison F. Ducretet et E. Roger*, 28, rue Saint-Sulpice, à Paris, 6^e.
- Rohel** (Émile), 10, rue Abel-Hovelacque, à Paris, 13^e.
- Rohrer** (Paul), Attaché à la *Compagnie Continentale des Compteurs*, 35, rue Lamarek, à Paris, 18^e.

- Rolland** (Edmond-Eugène), Ingénieur électricien E. S. E., Ingénieur de la Société *L'Éclairage électrique*, 42, boulevard Beaumarchais, à Paris, 3^e.
- Rollin** (Louis-Paul-Jacques-Henri), 119, rue de Lille, à Paris, 7^e.
- Romeyn** (Hendrik-Adriaan), Ingénieur électricien, Frans van Mierisstraat, 64, à Amsterdam (Pays-Bas).
- Rosen** (Jean), Ingénieur-Conseil en matière de propriété industrielle, Brevets d'invention, 46, rue de Paradis, à Paris, 9^e.
- Rosier** (Marc), ex-Administrateur-Délégué de la *Compagnie belge d'Installations électriques*, employé par la *Maison Cance fils et C^{te}*, comme mètreur de ville, 18, boulevard du Temple, à Paris, 11^e.
- Rossignol** (Marcel), Ingénieur à la *Société L'Éclairage électrique*, 3, rue des Pastoureaux, à Orléans (Loiret).
- Rothschild** (baron Edmond de), 21, rue Laffitte, à Paris, 9^e. M. F. M. P.
- Rothschild** (baron Gustave de), 23, avenue Marigny, à Paris, 8^e. M. F. M. P.
- Rouart** (Alexis), Constructeur mécanicien, 36, rue de Lisbonne, à Paris, 8^e. M. F.
- Roubaud** (Félix), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 2, rue Mouton-Duvernet, à Paris, 14^e.
- Rouët de Journal** (Ludovic), Inspecteur du Service électrique de la *Compagnie des Chemins de fer de Madrid à Saragosse et Alicante*, Estacion de Atocha, à Madrid (Espagne).
- Rouma** (Auguste), ancien Ingénieur de la *Maison Leclanché et C^{te}*, 67, rue des Charbonniers, à Bruxelles (Belgique).
- Roundo** (Alfred), Ingénieur attaché à la *Direction des voies de communications de la région de Saint-Petersbourg* et à l'*Institut impérial des Ingénieurs des voies de communications*, 17, rue Bronnitskaïa, à Saint-Petersbourg (Russie).
- Rouquier** (Emmanuel), Ingénieur E. C. P. et E. S. E., Administrateur délégué de la *Compagnie du Chemin de fer funiculaire de Grasse* et Ingénieur-Conseil du réseau de *Tramways électriques de Grasse à Cannes, avec embranchement sur Valbonne*, 1, boulevard du Jeu-de-Ballon, à Grasse (Alpes-Maritimes).
- Rousseau** (André), Chef du Service technique aux *Grands Moulins de Corbeil*, 9, rue de la République, à Corbeil (Seine-et-Oise).
- Rousseau** (Bertrand-Georges), Ingénieur à l'*Énergie électrique du Sud-Ouest*, 123, allée de Boutant, à Bordeaux (Gironde).
- Roussel** (Alfred), ancien Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, Inspecteur des Services électriques du *Chemin de fer du Nord*, à Calais (Pas-de-Calais).
- Roussel** (Anatole-Alphonse), Lieutenant d'Artillerie, Professeur adjoint à l'*École d'Instruction des équipes photo-électriques du littoral*, au Havre (Seine-Inférieure).
- Roussel** (Maurice-Charles), Ingénieur en chef du Service de la pose des câbles sous-marins à la *Société industrielle des Téléphones*, 10, avenue Pozzo di Borgo, à Saint-Cloud, Montretout (Seine-et-Oise).
- Roussel** (Maurice), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 243 bis, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Roussel** (C.-G.), Éditeur de l'*Annuaire de l'Électricité* et d'autres Annuaires d'adresses, 114, rue Lafayette, à Paris, 10^e.
- Routin** (Joseph-Louis), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Ingénieur-Conseil, Expert près les Tribunaux de Lyon, 6, rue Auguste-Comte, à Lyon (Rhône).

- Rouvel** (Valentin), Ingénieur principal des Services du jour de la *Société anonyme des Mines de Carmaux*, à Carmaux (Tarn).
- Roux** (Bernard), Ingénieur civil, 72, boulevard Montparnasse, à Paris, 14°.
- Roux** (Gaston), Directeur du *Bureau de contrôle des installations électriques*, 12, rue de Clichy, à Paris, 9°.
- Rouyer** (Charles), Capitaine d'Artillerie, Professeur au *Cours supérieur technique d'Artillerie*, à Bourges (Cher).
- Rouyer** (Jean), Chef du service des Essais à la *Société anonyme Westinghouse*, au Havre (Seine-Inférieure).
- Roy** (Georges-Eugène), Chef des *Travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon*, 13, rue René-Fleutelot, à Dijon (Côte-d'Or).
- Roy** (Louis-Maurice), Licencié ès Sciences, Préparateur à l'*École supérieure d'Électricité*, 1, rue d'Alençon, à Paris, 15°.
- Roycourt** (Eugène-Alphonse), Constructeur électricien, *Successeur de L. Bonetti* 71, avenue d'Orléans, à Paris, 14°.
- Royer** (Henri), Ingénieur principal de la Marine, Sous-Directeur de l'*École du Génie maritime*, 140, boulevard du Montparnasse, à Paris, 14°.
- Ruelle** (Adrien-Jules-Victor), Ingénieur civil des Mines, Sous-Inspecteur de l'Exploitation de la *Compagnie du chemin de fer P.-L.-M.*, 20, boulevard Diderot, à Paris, 12°.
- Rufz de Lavison** (de), 42, boulevard Maillot, à Neuilly-sur-Seine (Seine). M. P.
- Russell** (Charles-J.), District Manager of the *Philadelphia Electric Co.*, Tacony, Philadelphia (Penna.) (U. S. A.).

- Sabatié-Garat** (Pierre), Inspecteur à la *Société du Nord et de l'Est*, à Vauxbuin, près Soissons (Aisne).
- Sabatier** (Lucien), Ingénieur à la *Maison Bréguet*, 20, rue Dutot, à Paris, 15°.
- Sabine** (Alfred), Secrétaire général de la *Société Siemens and Co*, 12, Queen-Anne's gate, London S. W. (Angleterre).
- Sabourain** (J.-A.), Directeur honoraire des Postes et des Télégraphes, Secrétaire du Comité d'administration de la *Société internationale des Électriciens*, 30, rue Bonaparte, à Paris, 6°. M. F.
- Sabouret**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef du Matériel et de la Traction à la *Compagnie du chemin de fer de l'Ouest*, 132, rue de Rennes, à Paris, 6°.
- Sacquet** (Edmond), Ingénieur électricien de la *Maison Harlé et Cie*, 39, rue des Vignes, à Paris, 16°.
- Saget** (Julien-Emmanuel-Marie), Ingénieur à la *Maison Gaiffe*, 22, rue de Chartres, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Saïd** (Mehmed), Ingénieur électricien E. S. E., Poste restante française, boîte 43, Galata, Constantinople (Turquie).
- Saint-Léger** (Jean-Maurice de), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur délégué de la *Compagnie des Eaux et du Gaz* de Rostoff-sur-Don (Russie), 18, rue Marbeuf, à Paris, 8°.
- Saint-Martin** (Henri-Joseph-Félix), Ingénieur à la *Société de l'Accumulateur Tudor*, 22, rue de Tocqueville, à Paris, 17°.

- Saivre** (Maurice de), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Secrétaire général de la *Société d'Applications industrielles*, 14, rue Sédillot, à Paris, 7^e.
- Saladin** (E.), Ingénieur civil des Mines, Ingénieur principal aux *Établissements Schneider et Cie*, 42, rue d'Anjou, à Paris, 8^e.
- Salomons** (Sir David), M. A. Broomhill, Tunbridge Wells (Angleterre). M. P.
- Sanarens** (J.-J.), Chef de l'exploitation de la *Société boulonnaise d'Éclairage et de Force par l'Électricité*, 4, place Frédéric-Sauvage, à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais).
- Sanchez-Cuervo** (Luis), Ingénieur espagnol des Ponts et Chaussées, Fondé de pouvoirs et Chef du bureau de traction à la *Compagnie A. E. G. Thomson-Houston Ibérique*, 20, Calle del Prado, 42, à Madrid (Espagne).
- Sandström** (Robert), Ingénieur, *Établissements Grammont*, villa des Tilleuls, à Crémieu (Isère).
- Sannier** (René-Louis), Ingénieur électricien, 20, boulevard de Belfort, à Amiens (Somme).
- Santa-Maria** (Richard), Recteur de la *Faculté de Mathématiques et Génie civil de Bogota* (Colombie), 16, rue Pierre-Charron, à Paris, 16^e.
- Santerre**, 23, quai d'Orsay, à Paris, 7^e.
- Sanyas** (Louis), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la *Société hydro-électrique roussillonnaise*, cité Bartissol, à Perpignan (Pyrénées-Orientales).
- Sarda-Garriga** (Paul-Lucien), Sous-Directeur de la Société *Le Carbone*, à Notre-Dame-de-Briançon (Savoie).
- Sarrat** (F.-J.), Ingénieur en chef de la *Compagnie générale de Railways et d'Électricité*, 16, rue du Congrès, à Bruxelles (Belgique).
- Sartiaux** (Albert), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Chef de l'Exploitation à la *Compagnie des Chemins de fer du Nord*, 40, boulevard de Courcelles, à Paris, 17^e.
- Sartiaux** (Eugène), Ingénieur chef des Services électriques au *Chemin de fer du Nord*, Ancien Président de l'*Association amicale des Ingénieurs électriciens*, 48, rue de Dunkerque, à Paris, 9^e. M. F.
- Saucède** (Henri-Lucien), Ingénieur des constructions civiles, 52, rue de Torcy, Le Creusot (Saône-et-Loire).
- Saumon** (Georges), Ingénieur électricien A. M., E. S. E., 23, rue Saint-Germain, à Auxerre (Yonne).
- Sauvage** (Camille), Ingénieur électricien, Chef des travaux à l'*École municipale professionnelle Diderot*, 30, boulevard de la Villette, à Paris, 19^e.
- Sauvage** (Paul), Secrétaire général de la *Société parisienne pour l'industrie des Chemins de fer et Tramways électriques*, Secrétaire du Conseil d'Administration de la *Société des Ateliers de Constructions électriques du Nord et de l'Est*, Ingénieur de la *Société française Sprague*, 75, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e.
- Sauze** (Eugène-Louis), 5, rue de Viroflay, à Paris, 15^e.
- Savatier** (Lucien), ancien Chef des Services électriques de la *Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée*, Ingénieur des Arts et Manufactures, Château du Rouet, près le Muy, et Villa Coquette, à Toulon (Var).
- Scheffler** (André), Électricien, villa Seyfarth, avenue Shakespeare, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Schillès** (Albert), Ingénieur à la *Société Énergie électrique du Littoral méditerranéen*, 38 bis, Grand Chemin de Toulon, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

- Schlumberger** (Godefroy), Ingénieur-Directeur de la Société *L'Électrique de Montmorency*, 83, rue de Paris, à Montmorency (Seine-et-Oise).
- Schoen et Charlet**, Ingénieurs-Conseils, 17, rue de la République, à Lyon (Rhône).
- Schombourger** (Lucien-Nicolas-Constantin), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 14, rue du Mont-Thabor, à Paris. 1^{er}.
- Schuhler** (Paul-André), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur Sous-Directeur de la *Fabrication des Billets de la Banque de France*, 103, avenue de Neuilly, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Schwarberg** (Eugène-Gustave), Directeur de la *Compagnie Électromécanique*, au Bourget (Seine).
- Sciamia** (Gaston), Directeur de la *Maison Breguet*, 19, rue Didot, à Paris, 14^e. M. F.
- Sebert** (le Général H.), Membre de l'Institut, Administrateur de la *Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée*, 14, rue Brémontier, à Paris, 17^e.
M. F. M. P.
- Sedziak** (François), Mechanical and Electrical Engineer à la *Brandon Machine Works Co Limited*, 27, Bell Block, à Brandon (Manitoba Canada).
- Sée** (Raymond-Pierre-André), Directeur adjoint de la *Compagnie d'Électricité Ouest-Lumière*, 25, avenue Wagram, Paris, 17^e.
- Séguier** (Pierre-Arthur-Joseph de), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur électricien, 12, rue Cortambert, à Paris, 16^e.
- Séguin** (Léon), Directeur de la *Société d'Éclairage par le Gaz et par l'Électricité*, au Mans (Sarthe).
- Seiler** (Albert), Ingénieur des Arts et Manufactures, 17, rue Martel, à Paris, 10^e.
- Sekutowicz** (Ladislas-Arthur), Ingénieur des Arts et Manufactures, Chef du Service de la traction aux *Ateliers Thomson-Houston*, 17, rue de Baudreuil, à Meudon (Seine-et-Oise).
- Seligmann-Lui** (G.-P.), Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart, à Paris. 16^e.
M. F. M. P.
- Sellier** (Albert-Eugène), *Charbonnage de Rykouski*, par Jousoska, Gouvernement d'Ekatérinoslaw (Russie méridionale).
- Sellon** (John, Scudamore), 78, Hatton garden, London E. C. (Angleterre). M. F. M. P.
- Sémichon** (Jules-Jean-Baptiste), Directeur des ateliers de la Société *L'Éclairage électrique*, 66, rue Théophile-Gautier, à Paris, 16^e.
- Semmola** (Eugène), Directeur honoraire de l'*Observatoire météorologique de l'Université de Naples*, Calata, Trinita Maggiore, 53, à Naples (Italie).
- Senet** (Eugène-Étienne), Chimiste-Négociant, 32, boulevard Haussmann, à Paris, 9^e.
- Sergot** (Gaston-Jean), 14, rue Théodule-Ribot, à Paris, 17^e.
- Serrin** (Henri-Georges-Charles), Ingénieur électricien, 13, boulevard du Temple, à Paris, 3^e.
- Sharp** (Clayton-Hubrey), Test Officer of the Electrical Testing Laboratory, 80th Street and East End Avenue, New-York City (U. S. A.).
- Siegfried** (Jacques), Président du *Secteur électrique de Clichy*, 38, rue Fabert, à Paris, 7^e.
- Simon** (Paul), Ingénieur-Conseil, Expert près les Tribunaux, 1, quai de l'Est, à Lyon (Rhône).
- Simonet** (Jules), Directeur général de la *Française électrique, Compagnie de constructions électriques et de traction*, 101, rue de Crimée, à Paris, 19^e.

- Simonin** (Albert), Ingénieur des Travaux publics coloniaux, à Saïgon (Cochinchine).
- Simpson** (Geo. Palgrave), B. ès S., M. I. E. E., Électricien chez MM. *Mather et Platt, Ltd.*, Salford Iron Works, à Manchester (Angleterre). M. F. M. P.
- Sire de Vilar** (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, Diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, Constructeur mécanicien, 170, rue Michel-Bizot, à Paris, 12^e.
- Siry** (Étienne), Administrateur de la *Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, 31, rue Claude-Vellefaux, à Paris, 10^e.
- Smith** (Juan-Tomas), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées de la *République de l'Uruguay*, 243, Rincou, à Montevideo (République de l'Uruguay).
- Snijders** (J.-A.), C. J. ZN., Professeur d'Électrotechnique à l'*École Polytechnique de Delft*, 65, Voorstraat, à Delft (Pays-Bas).
- Société anonyme des établissements Adt**, à Pont-à-Mousson (Meurthe-et-Moselle).
- Société anonyme des Manufactures des glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey**, 3, place des Saussaies, à Paris, 8^e.
- Société centrale d'Électricité**, 10, rue Taitbout, à Paris, 9^e.
- Société des Forces motrices et Usines de l'Arve**, à Chedde, par Le Fayet (Haute-Savoie).
- Société française des Câbles électriques**, 11, chemin du Pré-Gaudry, à Lyon (Rhône).
- Société française Œrlikon**, 9, rue Pillet-Will, à Paris, 9^e.
- Société l'Éclairage électrique**, 364, rue Lecourbe, à Paris, 15^e.
- Société lyonnaise des forces motrices du Rhône**, 37, rue de la République, à Lyon (Rhône).
- Société Parisienne pour l'industrie des Chemins de fer et des Tramways électriques**, 75, boulevard Haussmann, à Paris, 8^e.
- Sogno-Lafongt** (Edmond-Jean-Baptiste), Ingénieur-Conseil, Expert près le *Tribunal civil de la Seine*, 4, rue Nocard, à Paris, 15^e.
- Solvay** (Ernest), Industriel, 45, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique). M. F.
- Solvay et C^{ie}**, à Dombasle-sur-Meurthe (Meurthe-et-Moselle). M. F.
- Sorlin** (Félix), Ingénieur à la *Société française des Câbles électriques*, 349, avenue de Saxe, à Lyon (Rhône).
- Sosnowski** (K.), Ingénieur civil, Administrateur-Directeur de la *Société de Laval*, 13, rue Clément-Marot, à Paris, 8^e.
- Souben** (Gabriel), Dessinateur à la *Maison Breguet*, 28, rue Tiphaine, à Paris, 9^e.
- Soucadauch** (René), Ingénieur électricien, *Compagnie générale d'Électricité*, à Albi (Tarn).
- Souchier** (F.), Électricien de la *Société d'Électricité Souchier et C^{ie}*, 8, rue de Belgique, à Nice (Alpes-Maritimes). M. F.
- Soulé** (D.), Fabricant d'appareillage électrique, à Bagnères-de-Bigorre (Hautes-Pyrénées).
- Soulier** (Alfred), Secrétaire de la Rédaction de l'*Industrie électrique*, 7, rue de la Gare, à Arcueil (Seine).
- Spathari** (Cornélius), Professeur à la grande *École nationale grecque*, Chemins de fer orientaux, Sirkedji, à Constantinople (Turquie).
- Stahl** (J.), Ingénieur attaché aux *Établissements Lazare Weiller et C^{ie}*, à Gravelle-Sainte-Honorine (Seine-Inférieure). M. F.

- Stahl** (Paul-Théodore-Waldemar), Ingénieur de MM. *Schneider et Cie*, 5, cours Morand, à Lyon (Rhône).
- Stanley** (William), Great, Barrington Mass. (U. S. A.).
- Stapfer** (D.), Ingénieur E. C., Constructeur de machines, boulevard de la Major, à Marseille-Joliette (Bouches-du-Rhône). M. F. M. P.
- Steinmann** (Henri), Ingénieur électricien, Chef des services électriques à la *Société des Houillères de Ronchamp*, à Ronchamp (Haute-Saône).
- Stevenin** (Eugène), boulevard Caraman, à Denain (Nord).
- Steynis** (Jan), C^o, *M. G. Octting*, 25, Ballston avenue, Scotia, near Schenectady (N.-Y., U. S. A.).
- Stichter** (G.-L.-A.), Ingénieur chez MM. *Balsan et Cie*, à Châteauroux (Indre).
- Stone** (W.-H.), Foreign Secretary Department of Communications, à Tokio (Japon).
- Street** (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur délégué de la *Société anonyme Le Carbone*, 3, rue Legendre, à Paris, 17^e.
- Stroh** (A.), B. A., 98, Haverstock Hill, London, N. (Angleterre). M. F.
- Stugocki** (Adolphe-Paul), Ingénieur à la *Société l'Éclairage électrique*, 25, rue Montnotte, à Paris, 17^e.
- Sudria** (Joachim), Ingénieur électricien, Professeur à l'*École pratique d'Électricité industrielle* et à l'*École spéciale des Travaux publics*, 26, rue de Staël, à Paris, 15^e.
- Swyngedauw** (R.-A.), Professeur de Physique et d'Électricité industrielles à la *Faculté des Sciences, Institut électrotechnique*, 1, rue des Fleurs, à Lille (Nord).
- Szarvady** (Géza), Ingénieur, Répétiteur des cours d'Électricité à l'*École centrale des Arts et Manufactures*, 4, rue Théodule-Ribot, à Paris, 17^e.
- Taboury** (Pierre-Alfred), Ingénieur électricien, à Couzeix (Haute-Vienne).
- Tachard** (André-Pierre), Ingénieur civil, Fondé de pouvoirs de la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, 4, rue de Vienne, à Paris, 9^e.
- Tacquet** (Pierre), Constructeur de lampes à arc, 12, rue Dufour, à Amiens (Somme).
- Tainturier** (Camille), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'*Usine électrique des Moulineaux*, 6, chemin de l'Ermitage, à Meudon (Seine-et-Oise).
- Tamm** (Henri), Directeur technique de la *Fram Française*, 24, rue de Bagnolet, à Paris, 20^e.
- Tanner** (Auguste-Martin), Conseil en matière de Brevets de la *General Electric Company Schenectady* et *Compagnie française Thomson-Houston* et *Ateliers Thomson-Houston*, 219, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Tardy de Montravel** (Félix-Joachim), Ingénieur, Directeur de la *Compagnie d'Électricité*, impasse du Jeu de Ballon, à Montpellier (Hérault).
- Tartary** (G.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Administrateur de *Chemins de fer d'intérêt local et de Tramways*, 13, rue Auber, à Paris, 8^e.
- Taubé** (Baron G. de), 81, boulevard de Courcelles, à Paris, 17^e.
- Tauber** (Karl-Paul), Ingénieur, Rotbuchstrasse, 32, à Zurich IV (Suisse).
- Tavernier** (Charles), 47, rue Claude-Bernard, à Paris, 5^e.
- Tchernosvitoff** (Nicolas), Ingénieur électricien, *Institut Polytechnique*, Angliisky prospect d. 5-7 kb. 21, Lesnoï, à Saint-Petersbourg (Russie).

- Teissier du Cros** (Henri-Émile), ancien Élève de l'École *Polytechnique*, Ingénieur civil des Mines, Ingénieur à la *Canalisation électrique*, 3, rue Balny-d'Avricourt, à Paris, 17^e.
- Terquem** (Émile), Libraire-éditeur, 19, rue Scribe, à Paris, 9^e. M. F.
- Terrel** (Louis-Charles-Joseph-Marie), 5, place de Rennes, à Paris, 6^e.
- Tesla** (Nikola), Ingénieur électricien, hôtel Gerbach, 45 W, 27th Street, à New-York (États-Unis).
- Texier-Bernier** (Georges-Marcel), Ingénieur aux *Ateliers Thomson-Houston*, 174, rue de Vaugirard, à Paris, 15^e.
- Thélin** (Johan-L.-P. de), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur électricien E. S. E., 9, rue Péré, à Tarbes (Hautes-Pyrénées).
- Thévenard** (Auguste), Ingénieur à la *Compagnie continentale Edison*, chargé de la direction de l'*Usine centrale du Palais-Royal*, 1, rue de Valois, à Paris, 1^{er}. M. F.
- Thiébaud** (V.-E.), ancien Élève de l'École *Polytechnique*, 22, rue de Lisbonne, à Paris, 8^e.
- Thielemans** (L.-J.-P.-M.), 110, rue de Rennes, à Paris, 6^e.
- Thiercelin** (Pierre), Directeur de *Le Nouveau Journal du Gaz et de l'Électricité*. Fondateur et Directeur général de la *Compagnie pour l'Éclairage des villes et la fabrication des compteurs*, 23, rue de Cléry, à Paris, 2^e. M. F.
- Thiéry** (Paul), Ingénieur des Arts et Manufactures, 11, rue Ferrand, à Valenciennes (Nord).
- Thiriet** (Jean-Baptiste), Ingénieur électricien, Director Gerente *Compania Electrica da Zacatecas*, Apartado 80, Zacatecas, à Mexico (Mexique).
- Thirion** (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 95, boulevard Beaumarchais, à Paris, 3^e.
- Thoisly** (Paul de), 23, avenue de Ségur, à Paris, 15^e.
- Thomann** (Albert), Ingénieur électricien, 28, Rothbergerstrasse, à Bâle (Suisse).
- Thomas** (Hippolyte), Ingénieur des Télégraphes, 15, rue Valentin-Haüy, à Paris, 15^e.
- Thomas** (Sébastien), 39, rue Michelet, au Havre (Seine-Inférieure).
- Thomé de Charaix** (Georges), Licencié ès Sciences de la Faculté de Paris, Ingénieur E. S. E. aux *Ateliers de la Compagnie de Fives-Lille*, à Givors (Rhône).
- Thomson** (Elihu), Electrician with *general Electric and Thomson Houston Electric Co*, à Swampscott, Mass. (États-Unis).
- Thurnauer** (Ernest), Ingénieur, 60, rue Pierre-Charron, à Paris, 8^e.
- Ticier** (Armand), Directeur de la *Société d'Éclairage électrique de Bordeaux et du Midi*, 28, rue du Temple, à Bordeaux (Gironde).
- Tillot** (Maurice), Ingénieur, 42, rue du Four, à Paris, 6^e.
- Tirefort** (Camille-Marie-Eugène), Dessinateur au *Service électrique de l'Omnium lyonnais*, 163, boulevard du Montparnasse, à Paris, 6^e.
- Tison** (Dr Édouard), 77, boulevard Montparnasse, à Paris, 6^e. M. F.
- Tissot** (Camille), Lieutenant de vaisseau, Professeur à l'École *navale*, à Brest (Finistère).
- Tobler** (Adolphe), Professeur à l'École *Polytechnique suisse*, Lieutenant-Colonel d'Artillerie, Winkelwiese, 4, à Zurich (Suisse).
- Tonnart** (André-Joseph), Directeur des ateliers de la *Société Le Carbone*, 12, place Pereire, à Paris, 17^e.
- Tosi** (Alexandre), Ingénieur à la dépendance d'un *Syndicat pour les études et l'ex-*

plaitation du système de Télégraphie sans fil dirigeable Bellini-Tosi, 4, rue du 29-Juillet, à Paris, 1^{er}.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 80, rue Bonaparte, à Paris, 6^e. M. P.

Touchar (René H.), Ingénieur civil des Mines, de la *Maison Palle, Bertrand et C^{te}*, Le Chambon-Feucherolles (Loire).

Toulon (Paul-Donat), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 106 *bis*, rue de Rennes, à Paris, 6^e.

Tournaire (Charles-Émile), Administrateur délégué, Directeur de la *Maison Rousselle et Tournaire*, 52, rue de Dunkerque, à Paris, 9^e.

Traz (Jean de), Ingénieur, Secrétaire de la Direction de la *Compagnie française des Métaux*, 10, rue Volney, à Paris, 2^e.

Trenzen (Docteur C.), 30, Kaldenkirchenerweg, à Venlo (Hollande).

Tresca (Gustave), Ingénieur civil, Conservateur honoraire des collections du *Conservatoire des Arts et Métiers*, 7, boulevard Saint-Germain, à Paris, 5^e.

Triguieros de Martel (Valdez), Ingénieur civil des Mines, adjoint à la Direction générale du Commerce et Industrie, Administrateur délégué de la *Companhia productora de Electricidade*, 59, rua de Bella Vista, à Lisbonne (Portugal).

Tripier (D^r A.), 8, rue Castellane, à Paris, 8^e. M. F.

Tripier (Henri), Ingénieur des Arts et Manufactures, 17, rue Alphonse-de-Neuville, à Paris, 16^e.

Tritz (Marcel), Ingénieur à la *Compagnie Électro-Mécanique*, 36, rue Damrémont, à Paris, 18^e.

Troller (André), Ingénieur, Secrétaire de la Rédaction du journal *La Nature*, 78, rue Lamarck, à Paris, 18^e.

Troost (L.), Membre de l'Institut, Professeur à la *Sorbonne*, 84, rue Bonaparte, à Paris, 6^e. M. F.

Trouilhet (F.-L.-A.), Ingénieur, 3, rue Bellecour, à Lyon (Rhône).

Turbiaux (Paul), Directeur de l'*Électricité moderne*, 29, allées de Tourny, à Bordeaux (Gironde).

Turenne (Paul), *Maison Barbier, Bénard et Turenne*, 82, rue Curial, à Paris, 19^e. M. P.

Turpain (Albert), Professeur de Physique à la *Faculté des Sciences de l'Université de Poitiers*, 95, rue de la Tranchée, à Poitiers (Vienne).

Turrettini (Théodore), Ingénieur, Président du Conseil administratif de la ville de Genève, Directeur de la *Société genevoise pour la construction d'instruments de Physique*, à Genève (Suisse).

Ullmann (Jacques), Constructeur électricien, 16, boulevard Saint-Denis, à Paris, 10^e.

Unné (Georg), Directeur de l'Usine de la *Société anonyme Westinghouse*, au Havre (Seine-Inférieure).

Urbain (Georges), Chef du Laboratoire de la *Compagnie générale d'Électricité*, rue du Bac, à Ivry-Port (Seine).

Urquidi (Francisco), Ingénieur au *Service du Gouvernement des États-Unis mexicains*, 4, Escalerillas, à Mexico (Mexique).

Uzel (Pierre), Ingénieur électricien, *Maison Harlé et C^{te}*, 39, rue Vital, à Paris, 16^e.

Vagniez (Bénoni), 14, rue Lemercier, à Amiens (Somme). M. F. M. P.

- Valbreuze** (Robert **de**), Ingénieur électricien, *Administrateur Délégué des Anciens Établissements Deberghe et Lafaye*, Administrateur délégué de la *Société de construction de véhicules automobiles*, Secrétaire général de la *Société internationale des Électriciens*, 8, rue Lévis, à Paris, 17^e. M. P.
- Vallance** (Théophile), Directeur des *Postes et des Télégraphes de la Gironde*, à Bordeaux (Gironde). M. F.
- Vallée** (Gabriel-Joseph **de**), 3 *bis*, rue Mizon, à Paris, 15^e.
- Vandeveld** (Henri), Ingénieur de l'*Institut industriel du Nord*, *Compagnie générale électrique*, 33, rue Oberlin, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Vaquer** (Paul-Léon), Ingénieur à la *Société Sud électrique*, Usine Saint-Victor, par Pont-de-Crau, à Arles (Bouches-du-Rhône).
- Varlanesco** (Justin), rue Vovidenia, à Jassy (Roumanie).
- Varret** (René), Constructeur d'appareils électriques pour les Sciences et pour l'industrie automobile, 39, rue Rivay, à Levallois-Perret (Seine).
- Vasesco** (Démètre), Ingénieur diplômé de l'*École supérieure d'Électricité*, 43, Strada Sfinti Vărozi, à Bucarest (Roumanie).
- Vasileșco-Karpen** (Nicolas), Docteur ès Sciences, Professeur à l'*École des Ponts et Chaussées*, 40, rue Occident, à Bucarest (Roumanie).
- Vaublanc** (Ch. **de**), Ingénieur à la *Compagnie générale d'accumulateurs et de traction*, 42, rue d'Artois, à Paris, 8^e.
- Vaudrey** (Paul-Virgile), Ingénieur-Constructeur électricien, 79 *bis*, boulevard Magenta et 1, passage de la Ferme-Saint-Lazare, à Paris, 10^e.
- Vautier** (Léon-Alexandre-Nicolas), Ingénieur aux *Mines de Flaviac*, à Flaviac (Ardèche).
- Vautier** (Théodore), Professeur à la *Faculté des Sciences de Lyon*, 3, montée de Balmont, à Lyon (Rhône).
- Véchembre** (Maurice), Ingénieur E. C. P. et E. S. E., Ingénieur à l'*Énergie électrique du Sud-Ouest*, rue Antoine-Gadaud, à Périgueux (Dordogne).
- Vedovelli** (Edouard), Ingénieur-Constructeur, 160 et 162, rue Saint-Charles, à Paris, 15^e.
- Vente** (Roger), Ingénieur, 20, boulevard Philippon, à **Marseille** (Bouches-du-Rhône).
- Vérany** (Victor-J.-Ferd.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Licencié en Droit, ancien Élève de l'*École supérieure d'Électricité*, 34, rue de la Paix, à Nice (Alpes-Maritimes).
- Verdoux** (J.), Négociant, 482, grande rue de Péra, à Constantinople (Turquie).
- Vermain** (Antoine-Louis-Alfred), 15, rue Saulnier, à Puteaux (Seine).
- Vernes** (Amédée-Louis-Charles-Arthur), Associé de la *Maison Vernes, Guinet, Sigros et C^{te}*, Administrateur de la *Société industrielle des Téléphones*, 69, boulevard Malesherbes, à Paris, 8^e.
- Vernet** (François), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur en chef de la *Compagnie générale des Travaux d'éclairage et de force*, 26, rue de Navarin, à Paris, 9^e.
- Vernisj** (Robert-Joseph-Marie **de**), 9, rue Jean-Bart, à Paris, 6^e.
- Véry** (Hector), Ingénieur, 103, avenue de la République, à Paris, 11^e.
- Vettiner** (Antoine), Ingénieur, Directeur de la *Société anonyme de Transports automobiles*, à Genève (Suisse).
- Vial** (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur des *Mines de Mercadal*, par Torrelavega, province de Santander (Espagne). M. F. M. P.

- Vial** (Jules), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'instruments d'Optique, 59, rue Caulaincourt, à Paris, 18°. M. F.
- Vicarino** (Charles-Auguste), Administrateur délégué de la *Compagnie générale électrique*, 33, rue Oberlin, à Nancy (Meurthe-et-Moselle).
- Victor** (Emmanuel), Ingénieur électricien, Chef du service électrique à l'*Usine à gaz de Reims* (Marne). M. F.
- Vidal** (Adolphe), Professeur de Physique à l'*École nationale professionnelle de Vierzon*, à Vierzon (Cher).
- Viégas** (D^r Antonio dos Santos), à Coïmbra (Portugal). M. F.
- Viel** (Georges), Directeur de l'*Énergie électrique du Centre*, 35, rue Balaÿ, à Saint-Étienne (Loire).
- Viénot** (G.), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de l'*Usine à gaz*, à Pau (Basses-Pyrénées).
- Vigier** (Raoul), Sous-Inspecteur au *Chemin de fer du Nord*, 120, rue Lafontaine, à Paris, 16°.
- Vignerot** (Eugène-Jules), ancien Professeur à l'*École supérieure d'Électricité*, 25, rue Poussin, à Paris, 16°.
- Viguerie** (Charles), Ingénieur électricien, Conseil en matières d'Installations minières et industrielles, 25, rue Raffet, à Paris, 16°.
- Villard** (Paul), Membre de l'Institut, Professeur suppléant au *Conservatoire national des Arts et Métiers*, 47, boulevard Saint-Germain, à Paris, 5°. M. P.
- Ville le Roux** (Pierre de la), Directeur de la *Société pour le travail électrique des métaux*, 90, boulevard Flandrin, à Paris, 16°.
- Vincens** (Ernest), Ingénieur civil des Mines, 27, avenue de l'Alma, à Paris, 8°.
- Vincent** (Gabriel), A. M., Ingénieur électricien à la *Compagnie d'Électricité de Marseille*, 12, boulevard National, à Marseille (Bouches-du-Rhône).
- Vincent** (Paul), Ingénieur électricien, Chef du Service électrique de la *Compagnie du Gaz de Besançon*, rue Bersot, à Besançon (Doubs).
- Vinson** (Jules), attaché à l'Inspection du service des installations électromécaniques de la *Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest*, 38, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine (Seine).
- Violet** (Léon), Ingénieur, Trésorier de la *Société internationale des Électriciens*, 6, rue de l'Abbaye, à Paris, 6°. M. F. M. P.
- Violle** (J.), Membre de l'Institut, Maître de Conférences à l'*École Normale*, Professeur au *Conservatoire national des Arts et Métiers*, 89, boulevard Saint-Michel, à Paris, 5°. M. F.
- Viry** (Pierre), Capitaine d'Artillerie, Chef du service des bâtiments et machines à l'*Atelier de Constructions de Puteaux*, 24, rue de la Liberté, à Suresnes (Seine).
- Vivarez** (Henry), Ingénieur civil des Mines, 12, rue de Berne, à Paris, 8°. M. F.
- Vivès** (D^r Guillermo), Médecin-Oculiste, à Ponce (île de Porto-Rico). M. F. M. P.
- Vivès y Navaro** (D^r Carlos), Atocha, 19, à Ponce (île de Porto-Rico). M. P.
- Vivien** (Alfred-Marie-Henri), Ingénieur, 13, rue Calmels, à Paris, 18°.
- Vloten** (Frank van), Ingénieur, Heerestraat, à Wageningen (Pays-Bas). M. P.
- Voisenat** (Jules), Ingénieur en chef des Télégraphes, 20, rue de Metz, à Dijon (Côte-d'Or).
- Vorges** (Henri-Pierre-Joseph de), Ingénieur, Inspecteur des usines Eau, Gaz, Électricité de la *Société des Usines à gaz du Nord et de l'Est*, 8, rue de l'Évêché, à Soissons (Aisne).

Vourloud (Pierre), Ingénieur, *Maison Rousselle et Tournaire*, 18, rue Taylor, Paris, 10^e.

Vuigner (Émile), Ingénieur-Conseil pour les Mines, la Métallurgie et l'Industrie chimique, 46, rue de Lille, à Paris, 7^e.

Vuilleumier (C.), Ingénieur électricien, 3, chemin Puthon Grange Canal, à Genève (Suisse).

Vulcanesco (G.-M.), Ingénieur des constructions civiles, Ingénieur électricien, villa Bijou, 12, rue Laval, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

Wait (Henry-H.), Président, *Rateau Turbine Co*, 215, Wabash Avenue, à Chicago (États-Unis).

Walckenaer (Charles), Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'*École des Ponts et Chaussées*, 218, boulevard Saint-Germain, à Paris, 7^e.

Wall (Charles), Ingénieur de 1^{re} classe de la Marine, 4, avenue Daubigny, à Paris, 17^e.

Wallut (Raymond), 32, boulevard de Courcelles, à Paris, 17^e.

Walter (André-Maurice-Frédéric), Ingénieur électricien, *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, 26, avenue des Fosses, à Montbéliard (Doubs).

Warnerie (Frédéric), Ingénieur à la *Maison Harlé et Cie*, 9, avenue Duquesne, à Paris, 7^e.

Waterhouse (Laurence-Maxwell), A. M. Inst. E. E., Managing Director and Engineer, *The Simplex Steel, Conduit Co*, Bindown, Lower Teddington Road, à Hampton Wick (Angleterre).

Wattelet (Jules-Édouard), Ingénieur électricien (E. S. E.), Licencié ès sciences. Attaché à la *Compagnie française Thomson-Houston*, 18 bis, rue de Chartres, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

Weaver (W.-D.), Ingénieur électricien, à Englewood (N. J., U. S. A.).

Weber (Dr H.-F.), Professeur, à Zurich (Suisse).

M. F.

Weber (Léon-Charles), Ingénieur des *Services électriques*, *Compagnie d'Électricité de Marseille*, 1, boulevard Longchamp, à Marseille (Bouches-du-Rhône).

Weiersmuller (Guillaume), Fabricant de moules pour plaques d'accumulateurs, 8, rue de Tourtille, à Paris, 20^e.

Weill (Horace), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 66, rue de la Chaussée-d'Antin, à Paris, 9^e.

Weiller (Lazare), Ingénieur-Manufacturier, 27, rue de Londres, à Paris, 9^e.

M. F.

Weiss (Georges), Professeur agrégé à la *Faculté de Médecine*, 20, avenue Jules-Janin, à Paris, 16^e.

Weiss (Pierre), Professeur à l'*École Polytechnique de Zurich*, 86, Universitäts-strasse, à Zurich (Suisse).

Weissmann (Gustave), Ingénieur électricien, 7, rue Pierre-le-Grand, à Paris, 8^e.

Weyer (Victor-Jacques), Sous-Directeur de la *Compagnie électrique du Secteur de la Rive gauche*, 3, rue Le Goff, à Paris, 5^e.

Widmer (Jules-Henri), Directeur au *Secteur électrique de la Place Clichy*, 53, rue des Dames, et 8, rue Brémontier, à Paris, 17^e.

Winch (Jean-Jules), Ingénieur électricien à la *Maison Harlé et Cie*, 6, rue Nouvelle du Théâtre, à Paris, 15^e.

Winter (G.-K.), F. R. A. S., M. Inst. C. E., M. I. E. E., Telegraph Engineer and Electrician Madras Railway, à Arkonum, près Madras (Indes orientales).

M. F. M. P.

Witzig (Augustin), ancien Élève de l'*École Polytechnique*, Directeur commercial de la Société *L'Éclairage électrique*, 90, avenue d'Iéna, à Paris, 16^e.

Worms (Henri-Jean-Jacques), Ingénieur des Arts et Manufactures, à la Société *Le Carbone*, 12, rue de Lorraine, à Levallois-Perret (Seine).

Wuillenmier (Henri), Ingénieur, 46, rue Lepic, à Paris, 18^e.

Xifra (Narciso), Ingénieur électricien, à Gérone (Espagne).

M. P

Zammit (William), Ingénieur à l'*Énergie électrique du Sud-Ouest*, 116, cours d'Aquitaine, à Bordeaux (Gironde).

Zetter (Charles), Ingénieur, Directeur de la *Compagnie française d'Appareillage électrique*, 49, rue de Maubeuge, à Paris, 9^e.

Ziemkiewicz (Ladislas-Stanislas-Constantin de), Capitaine du Génie à la Chefferie de Toul, à Toul (Meurthe-et-Moselle).

Ziffer (Emanuel-A.), Ingénieur civil, Président des *Chemins de fer Lemberg-Czernewitz-Jassy* et des *Chemins de fer Lemberg-Betzée* (Tomaszów), 1, Opernring, 5, à Wien (Autriche).

Zweifel (Gaspard), Ingénieur électricien à la *Société alsacienne de Constructions mécaniques*, à Belfort (territoire de Belfort).



LISTE PAR LOCALITÉS

FRANCE.

AISNE

SAINT-QUENTIN

Basquin (J.).
Béranger (A.-F.).
Gibert (A.).
Léo (F.).

SOISSONS

Vorges (H.).

VAUXBUIN

Sabatié-Garat (P.).

ALLIER

MONTLUÇON

Jéramec (H.).
Meunier (G.-A.).

ALPES (BASSES-)

MANOSQUE

Mandin (A.).

ALPES-MARITIMES

GRASSE

Rouquier (E.).

MENTON

Guyau (A.).

NICE

Brès (H.).
Chrétien (H.).
Darbois (J.).
Debout (A.).
Fahie (J.-J.).
Humblot (G.).
Martiny (J.).
Prève (L.).
Scheffler (A.).
Souchier (F.).
Vérany (V.).

SAINT-MARTIN-VÉSUBIE

Mottet (J.).

VILLEFRANCHE-SUR-MER

Béglet (A.).

ARDECHE

FLAVIAC

Vautier (L.).

ARDENNES

CHARLEVILLE

Bourgeois (R.).
Forstall (M.).

FUMAY

Clin (E.).

ARIÈGE

FOIX

Bouchède (J.).

PAMIEUX

Gaumy (R.).

AUBE

TROYES

Brouard (J.).

AUDE

CARCASSONNE

Estrade (J.).

NARBONNE

Paszkowski (H.).

AVEYRON

DECAZEVILLE

Aubert (P.).
Baudis (A.).

VIVIEZ

Dive (P.).

BOUCHES-DU-RHONE

ARLES

Faugier (P.).
Poggi (A.).
Vaquer (P.).

FOS-SUR-MER

Meunier (G.).

MARSEILLE

Albrand (E.).
Bargeton (P.).
Barraud (E.).
Barthélemy (H.).
Bidot (R.).
Bordier (G.).
Bourrellis (L.).
Costa (J.).
Detraux (L.).
Dubs (H.).
Fabre (H.).
Fabry (C.).
Grandjean (J.).
Laporte (G.).
Manescau (L.).
Ollivier (E.).
Poujol (L.).
Pravaz (H.).
Roger (C.).
Schillès (A.).
Stapfer (D.).
Vente (R.).
Vincent (G.).
Weber (L.).

CALVADOS

TROUVILLE

Néel (A.).

CANTAL

LE BOUCHET

Coqblin (H.).

MAURS.

Gratacap (A.).

CHARENTE

BONNES

Ferrères (E.).

RUELLE

Cannic (A.).

CHARENTE-INFÉRIEURE

LA PALLICE

Picard (J.).

LA ROCHELLE

Ducellier (L.).

Rodier (P.).

CHER

BOURGES

Arnould (C.).

Robin (M.).

Rouyer (C.).

VIERZON

Vidal (A.).

CORRÈZE

BRIVE

Marsalès (P.).

CÔTE-D'OR

DIJON

Boulangier (J.).

Charlot.

Coulon (R. de).

Galliot (F.).

Legoupil (P.).

Mortureux (L.).

Pionchon (J.).

Roy (G.).

Voisenat (J.).

CÔTES-DU-NORD

SAINT-BRIEUC

Bullier (G.).

CREUSE

AHUN

Berger (M.).

DORDOGNE

PÉRIGUEUX

Frouart (A.).

Véchembre (M.).

TERRASSON

Dubournay (J.).

LES TUILIÈRES

Bellot (L.).

Kupper (A.).

DOUBS

BESANÇON

Midoz (Ch.).

Perreau (F.).

Vincent (P.).

MONTBÉLIARD

Lesouhaitier (R.).

Walter (A.).

DROME

ROMANS

Riollé (M.).

FINISTÈRE

BREST

Briaudet (A.).

Charpentier (H.).

Gajan (E.).

Godfroy (F.).

Lacoste (H.).

Marget (E.).

Néré (G.).

Tissot (C.).

GARD

BESSÈGES

Compagnie houillère (Le
Directeur de la).

TAMARIS

Deleuze (A.).

NIMES

Mainguenaud.

GARONNE (HAUTE-)

POINTES-ISNARD

Caplong (E.).

TOULOUSE

Choulet (L.).

Ferrier (P.).

Gély (E.).

Girardin (M.).

Juppont (P.).

Leduc (G.).

GIRONDE

BORDEAUX

Baudry.

Bergonié (J.).

Bumsel (H.).

Cailhava (E.).

Chevallier (H.).

Delasalle (A.).

Desforges (E.).

Fave (A.).

Fétaz (J.).

Gossart (E.).

Gounouilhous (G.).

Labroue (E.).

Lautré (J.).

Renous (J.).

Rousseau (B.).

Ticier (A.).

Turbiaux (P.).

Vallance (T.).

Zammit (W.).

CAUDÉRAN

Douilhet (A.).

Labrouste (P.).

SAINTE-FOY-LA-GRANDE

Lourme.

HÉRAULT

BÉDARIEUX

Blanc (E.).

BÉZIERS

Brissard (J.).

MONTPELLIER

Armet (H.).

Tardy de Montravel (F.).

ILLE-ET-VILAINE

CHAUDÉBOEUF

Courtél (Abbé).

RENNES

Roche (C.).

SAINT-SERVAN

Le Maréchal (E.).

INDRE

ARGENTON

Guillaume (P.).

CHATEAUXROUX

Stichter (G.).

VILLADON

Bérard.

INDRE-ET-LOIRE

TOURS

Kesseldorfer (W.).

Limousin (C.).

ISÈRE

ALLEVARD

Giraud (M.).

CRÉMIEU

Sandström (R.).

GRENOBLE

Association des Anciens
Élèves de l'Institut électrotechnique.

Barbillon (L.).

Baudoux-Chesnon (L.).

Bergeon (P.).

Bertoye (L.).

Gariel (M.).

Hulin (L.).

Institut électrotechnique de
l'Université.

Jenny (F.).

Maréchal (C.).

Mertz (F.).

Poirson (E.).

MEYZIEU

Courjon (A.).

PONT-DE-BEAUVOISIN

Baillat (E.).

PONT-DE-CHÉRUY

Lefèvre (G.).

RIVES

Blanchet (H.).

Langlois (J.).

RIOUPÉROUX

Marcandier (M.).

VIZILLE

Bankir (J.).

JURA

DÔLE

Brugnaud.

THERVAY

Guillon (C.).

LANDES

MONT-DE-MARSAN

Dachary (C.).

LOIR-ET-CHER

BLOIS

Michel (L.).

LOIRE

LE CHAMBON-FEUGEROLLES

Touchard (R.).

LE COTEAU

Lebon (R.).

SAINT-ÉTIENNE

Desvignes (J.).

Fayard (P.).

Guilton (A.).

Perrin (M.).

Viel (G.).

LOIRE-INFÉRIEURE

NANTES

Bertreux (H.).

Bouget (R.).

Bruneteau (M.).

Férat (E.).

Fievé (G.).

Leveau (J.).

Maisonnette (S.).

Motin (E.).

LOIRET

LES ROCHES

Loreau (A.).

ORLÉANS

Fauconnier.

Rossignol (M.).

SAINT-JEAN-DE-BRAYE

Imbault (P.).

LOT-ET-GARONNE

AGEN

Fleury (P.).

LOUBATÉRY

Ducouso (Th.).

MARMANDE

Chapat (Ch.).

MAINE-ET-LOIRE

ANGERS

Dumon (J.).

Orain (A.).

Pichery (L.).

MANCHE

CHERBOURG

Bion (E.).

Decencièrre-Ferrandière (L.).

Nivet (L.).

Paty de Clam (Du).

GRANVILLE

Gallini (A.).

NACQUEVILLE

Lecocq (G.).

MARNE

REIMS

Coze.

Victor (E.).

SERMAIZE

Félix (C.).

MARNE (HAUTE-)

JONCHERY

Frison (E.).

MAYENNE

LA GRANGE

Le Clerc (G.).

LAVAL

Bouvier (A.).

Ployart (L.).

MESLAY-DU-MAINE

Lagarde (C.).

MEURTHE-ET-MOSELLE

DOMBASLE-SUR-MEURTHE

Solvay et C^{ie}.

HOMÉCOURT

Basset (R.).

MONT-SAINT-MARTIN

Dreux (A.).

NANCY

Association amicale des Ingénieurs anciens Élèves de l'Institut électrotechnique et de Mécanique appliquée.

Boreau (G.).

Fleury (C.).

Hammer (J.).

Huard (M.).

Institut d'Électrotechnique et de Mécanique appliquée de la Faculté des Sciences.

Joubert (A.).

Laval.

Mauduit (A.).

Vandeveld (H.).

Vicarino (C.).

NEUVES-MAISONS

Jénot (C.).

PAGNY-SUR-MOSELLE

Henrion (L.).

PONT-A-MOUSSON

Société anonyme des Établissements Adt.

TOUL

Bons (H.).

Zienkiewicz (L.).

MEUSE

SAINT-MIHIEL

Phasmann (A.).

MORBIHAN

HENNEBONT

Lardy (A.).

LORIENT

Doat (F.).

NORD

ANICHE

Paumier (G.).

ANZIN

Dumoulin (G.).

Leprince (G.).

CAMBRAI

Petit-Dupont.

DENAIN

Grivet (R.).

Stévenin (R.).

DOUAI

Bréguet (J.).

Bréguet (L.).

Cornier (E.).

David (R.).

Duquénoy (G.).

Fayot (L.).

JEUMONT

Bloomfield (C.).

Ledeuil (L.).

Perret (J.).

LILLE

Arquembourg (C.).

Blanc (J.).

Brune (P.).

Cahen (L.).

Chabot (L.).

Damien (B.).

Dreyfus (G.).

Ducastel (G.).

Faure (J.).

Gallet (O.).

Meynier (A.).

Milon (H.).

Mossé (E.).

Nègre (F.).

Swyngedaew (R.).

MONCHECOURT

Nébinger (J.-B.).

ROUBAIX

Beghin (A.).

TOURCOING

Courquin (Abbé).

VALENCIENNES

Flayelle (G.).

Thiéry (P.).

OISE

CRAMOISY

Labèque (E.).

CREIL

Leblond (R.).

ORNE

CUISSAI

Malassis de la Cussonnière.

PAS-DE-CALAIS

ARRAS

Barré (G.).

Girard de Vasson (J.).

Le Gentil-Parent (A.).

BILLY-MONTIGNY

Mouzé (H.).

BOULOGNE-SUR-MER

Paulmier (A.).

Sanarens (J.).

BULLY-LES-MINES

Franck (C.).

CALAIS

Bainville (P.).

Roussel (A.).

HÉNIN-LIÉTARD

Dominé (A.).

ISBERGUES

Lebovici (J.).

LENS

Reumaux (E.).

LIÉVIN

Everlin (M.).

Féder (E.).

Le Goff (C.).

PONT-A-VENDIN

Dinoire (E.).

PUY-DE-DOME

CLERMONT-FERRAND

Binet.

Démarchez (G.).

Fric (R.).

Izard (J.).

Marie de Chastenay (P.).

LES MARTRES-DE-VEYRE

Chauvassaignes.

PYRÉNÉES (BASSES-)

BIARRITZ

Roche (A.).

PAU

Daries (A.).

Delgay (L.).

Viénot (G.).

PYRÉNÉES (HAUTES-)

BAGNÈRES-DE-BIGORRE

Soulé (D.).

PIERREFITTE-NESTALAS

Louis (C.).

SAINT-PÉ-DE-BIGORRE

Belleville (J.).

TARBES

Chillaz (De).

Thélin (De).

VILLELONGUE

Ferron (L.).

PYRÉNÉES-ORIENTALES

MONT-LOUIS

Pailletet (J.).

PERPIGNAN

Sanyas (L.).

RHÔNE

GIVORS

Guillemin (P.).

Thomé (G.).

LA MULATIERE

Giraud-Teulon (M.).

LYON

Beaujard (L.).

Boutan (A.).

Bouvier (Ad.).

Compagnie du Gaz de Lyon.

Côte (E.).

Courbier (J.).

Delon (J.).

Dumont (E.).

Du Mont (A.).

Fasse (J.-E.).

Garry (E.).

Godinet (A.).

Graff (J.).

Henrard (G.).

Lalande (H.).

Limb (C.).

Maljournal et Bourron

Maréchal

Nissou (A.).

Pallièrre (A.).

Pinet (E.).

Poirier (M.).

Richard (A.).

Rigollot (P.).

Rochas (J.).

Rochas (V.).

Roche (L.).

Routin (J.).

Schœn et Charlet.

Simon (P.).

Société française des Câbles
électriques.

Société lyonnaise des Forces
motrices du Rhône.

Sorlin (F.).

Stahl (P.).

Trouilhet (F.).

Vautier (T.).

SAINT-GENIS-LAVAL

Gaillard (J.).

TASSIN

Bouchard (P.).

SAONE (HAUTE-)

RONCHAMP

Steinmann (H.).

SAONE-ET-LOIRE

CHAMIREY-BOURGNEUF-

VALDOR

Jordery (C.).

LA CLAYETTE-BAUDEMONT

Meunier (P.).

LE CREUSOT

Saucède (H.).

MACON

Dunion (L.).

SARTHE

LE MANS

Bertrand de Broussillon.

Cabaret.

Séguin (L.).

SABLÉ-SUR-SARTHE

Jégou (P.).

SAVOIE

BOZEL

Mondange (A.).

MOUTIERS

Charles (V.).

NOTRE-DAME-DE-BRIANÇON

Sarda-Garriga.

SAVOIE (HAUTE-)

ANNECY

Aussédal (L.).

CHEDDE

Société des Forces motrices
et Usines de l'Arve.

SEINE

ALFORTVILLE

Cottavoz (J.).

Hainglaise (P.).

Renou (R.).

ARCUEIL

Soulier (A.).

ASNIÈRES

Aliamet (M.).

Barré (P.).

Brylinski (E.).
Damoiseau (J.-B.).
Duperron (G.).
Fay (P.).
Gomonet (E.).
Janvier (G.).
Ledieu (C.).
Liagre (C.).
Mazen (A.).
Nansouty (M. de).
Reuss (G.).
Roche (P.).

BILLANCOURT

Aubert (M.).
Aubert (M.).
Debray (A.).
Drin (L.).

BOULOGNE-SUR-SEINE

Bapst (H.).
Drouin (F.).
Labour (E.).

BOURG-LA-REINE

Farlet (P.).
Dongier (R.).
Joly (M.).

CLICHY

Bardon (L.).
Cosson (G.).
Daguerre (H.).
Paulin (C.).

ÉPINAY-SUR-SEINE

Durand (F.).

FONTENAY-SOUS-BOIS

Bassée (Ch.).

FONTENAY-AUX-ROSES

Langevin (P.).

GENNEVILLIERS

Cany (G.).

GENTILLY

Foy (F.).

ISSY-LES-MOULINEAUX

Brenot (M.).
Chevrier (L.).
Rieunier (P.).

IVRY-PORT

Urbain (G.).

JOINVILLE-LE-PONT

Guénée (A.).

LA GARENNE-COLOMBES

Lebaupin (G.).
Lompajeu (V.).

LE BOURGET

Schwarberg (E.).

LEVALLOIS-PERRET

Chabert (F.).
Duchez (F.).
Gindre (E.).
Heinz (A.).
Lestienne (W.).
Nikolsky (A. de).
Varret (R.).
Worms (H.).

LE PERREUX

Decaux (L.).

MALAKOFF

Doignon (L.).

MONTREUIL-SOUS-BOIS

Berne (J.).
Gros (A.).

NANTERRE

Bainville (A.).
Getting (E.).
Gutperle (A.).

NEUILLY-SUR-SEINE

Barthélemy (E.).
Bellot (A.).
Bourdel (J.).
Brillié (L.).
Delaunay-Belleville.
Deplanque (A.).
Guéry (F.).
Kergorlay (A. de).
Kissel (E.).
Lestradé (G.).
Oudot (R.).
Pichon (G.).
Porte (L.).
Rufz de Lavison (De).
Saget J.).

Schuler (P.).
Vinson (J.).
Wattelet (J.).

NOGENT-SUR-MARNE

Bochet (L.).
Razet (J.).

PARIS

Abraham (H.).
Alby (A.).
Alizan (M.).
Allain-Launay (J.).
Allaire (E.).
Allemandi (M.).
Alliot (R.).
Amiaud (P.).
Amiot (J.).
Amoudruz (A.).
Ance! (L.).
Archat (P.).
Argyropoulos (C.).
Armagnat.
Armengaud jeune.
Armengaud aîné.
Arnoux (H.).
Arnoux (R.).
Arsonval (A. d').
Aubry (E.).
Audoux (G.).
Aumont (L.).
Avril (C.).
Azambre (P.).
Azaria.

Bablon (V.).
Bachon (L.).
Badon-Pascal (G.).
Baillaud (E.).
Baille (J.).
Baillehache (R. de).
Bailly (E.).
Bajanoff (J.).
Balme (E.).
Bancelin (E.).
Banti (E.).
Barbier (F.).
Barbier (R.).
Barbou (A.).
Bardot (C.).
Bardy (Ch.).
Barillet (L.).

- Barillot (A.).
Barris (P.).
Bary (P.).
Basch (E.).
Baudot (V.).
Baudouin (E.).
Baume-Pluvinel.
Baux.
Bazille (A.).
Beau (H.).
Beaudier (A.).
Beauvois-Devaux (A.).
Becker (B.).
Becq (L.).
Belliol (E.).
Bellon (J.).
Bélugou (V.).
Benoist (G.).
Berger (G.).
Bergès (G.).
Bergon (L.).
Berrier (M.).
Berthelot (D.).
Berthet (M.).
Berthon (J.).
Berthon (L.).
Bertrand (E.).
Besombes (C.).
Besson (P.).
Béthenod (J.).
Bickart (L.).
Bidet (L.).
Bienvenu (R.).
Bilard (A.).
Biver (L.).
Bizet (S.).
Blaché (P.).
Blaisse (L.).
Blanchet (A.).
Blanchon.
Blazy (A.).
Bligny (J.).
Bloch (A.).
Bloch (E.).
Bloch (M.).
Bloch-Sée (A.).
Blondeau (J.).
Blondel (A.).
Blondin (J.).
Bochet (A.).
Boillot (E.).
Boivin (H.).
Boisserand (P.).
Boistel (E.).
Bonaparte (Prince R.).
Bonfante (F.).
Bonneau (H.).
Bonnet (J.).
Borderel (J.).
Bordet (L.).
Borel (H.).
Bornand (E.).
Borrel (G.).
Bouchet (M.).
Bouchon.
Boudreaux (L.).
Bouilhet (Ch.).
Bouju (G.).
Boulardet (E.).
Boulitte (G.).
Bour (P.).
Bourgue (A.).
Bourguignon (P.).
Boursault (H.).
Boursy (M.).
Boury (A.).
Boussion (R.).
Bouthillon (L.).
Boutin (M.).
Boutrais (L.).
Bouty (E.).
Bouvier (C.).
Boy de la Tour (H.).
Brachet (H.).
Brachotte (A.).
Brancion (L.).
Branly (E.).
Brault (C.).
Brémond (G.).
Brillouin (A.).
Brillouin (M.).
Brison (H.).
Broca (A.).
Brocq.
Brout (L.).
Bruhl (P.).
Brulé (H.).
Brüll (A.).
Brunel (H.).
Brunet (A.).
Brunswick (E.).
Buffet (E.).
Bunet (P.).
Bureau (H.).
Busson (V.).
Butaud (J.).
Cadiot (E.).
Cahen (A.).
Cahen (M.).
Cailho.
Cailletet.
Caire (A.).
Calinaud (J.).
Calmettes (G.).
Calvé (F.).
Campanakis (A.).
Cance (A.).
Cance (A.).
Canet (P.).
Caraman (E. de).
Carnot (J.).
Carpentier (J.).
Carré (C.).
Cassegrain (F.).
Cathiard (G.).
Cellerier (J.).
Chabert (L.).
Chaboche (E.).
Cnabrié.
Chalons (L.).
Chamon (G.).
Chapelle (P.).
Chapsal (F.).
Chardin (A.).
Chardin (C.).
Chassériaud.
Chassevent (H.).
Chaufour (E.).
Chaumat (H.).
Chaussonot (H.).
Chauvin (R.).
Chédeville (E.).
Cheilletz (G.).
Chemin (E.).
Chéneveau (C.).
Chéronnet (M.).
Chertemps (C.).
Cheurlot (P.).
Chireix (H.).
Chotard (E.).
Chrétien (P.).
Cilenti (S.).
Clamond (C.).
Claude (G.).
Clere (F.).

- Clerc (L.).
Cochin (J.).
Codry (P.).
Combemale (H.).
Combemale (M.).
Compagnie centrale d'Éclairage par le Gaz.
Compagnie électrique de la Loire.
Compagnie parisienne de l'Air comprimé.
Comte (M.).
Coninck (De).
Constans (A.).
Coquelet (E.).
Cordier (F.).
Cordier (G.).
Cordin (G.).
Cornabat (R.).
Cornet (J.).
Cornuault (A.).
Cornuault (E.).
Cosserrat (F.).
Courtois (G.).
Cousin (E.).
Coutelier (L.).
Couteux (L.).
Couvreur (A.).
Croiset (A.).
Cuau (C.).
Curchod (A.).

Da (J.).
Danis (J.).
Danne (J.).
Darcq (E.).
Daresle de la Chavanne.
Darlu de Roissy.
Darnal (F.).
Darras (A.).
Darrieus (G.).
David (C.).
David (L.).
David (P.).
Dawant (H.).
Debeauve (P.).
Debionne (E.).
Debray (P.).
Dechandol (P.).
Décombe.
Dehenne (G.).
Dejust (J.).

Delafon (P.).
Delaporte (P.).
Delas (F.).
Delaunay (E.).
Delhumeau.
Deligny (J.).
Delorme (P.).
Delpeuch (G.).
Del Viniotti (J.).
Démichel (E.).
Déramat (J.).
Descamp (G.).
Deslandres (H.).
Desmaretz (J.).
Desnos (H.).
Desombre (P.).
Desrozières (E.).
Détroyat (J.).
Deutsch (E.).
Devaux (E.).
Devaux-Charbonnel.
Diémand (J.).
Dobkevitch (G.).
Domange (A.).
Dorido (E.).
Dosme (F. de).
Doussot (A.).
Drouët (L.).
Dreyfus (J.).
Dubois (E.).
Dubois (R.).
Duchesne (E.).
Ducretet (E.).
Ducretet (F.).
Duez (G.).
Dujardin (A.).
Dujardin (P.).
Dumartin (L.).
Dumont (G.).
Dupont (G.).
Dupont-Buèche (M.).
Dupuy (P.).
Durand (A.).
Durangel (G.).
Durnerin (H.).
Duval (C.).

Echeverria.
Eiffel (A.).
Elluin (H.).
Emery (L.).
Erhmann (P.).

Eschwège.
Établissement central de la Télégraphie militaire.

Fabry (J.).
Faramond de Lafajolle (de).
Faria (O. de).
Farman (D.).
Fauchon-Villeplée (A.).
Faure-Beaulieu (J.).
Faure-Miller (R.).
Ferrié (G.).
Filleul-Brohy (G.).
Foiret (A.).
Fontaine (E.).
Fontaine (G.).
Fontaine (H.).
Foureaux (A.).
Fournier (G.).
Foveau de Courmelles.
Frager (A.).
France (E. de).
Franchimont (H.).
Freundler.
Fröhlich (R.).
Frouin (A.).

Gaiffe (G.).
Galibert (E.).
Gallay (E.).
Gamard (G.).
Garcin (J.).
Garfield (A.).
Gariel (C.).
Garnier (P.).
Gasnier (P.).
Gasquet (R.).
Gaucharaud (A.).
Gaudet (C.).
Gaudouin (F.).
Gaultier (G.).
Gaumont (L.).
Gaupillat (M.).
Gauthier-Villars (A.).
Gautier (G.).
Gay (A.).
Gazanion (P.).
Gendre (P.).
Génon (H.).
Gentet (L.).
Genteur (J.).
Geoffroy (E.).

Gilles-Saint-Germain.
Gin (G.).
Girard (C.).
Girard (L.).
Girault (P.).
Girousse (G.).
Gleyre (C.).
Goisot (G.).
Goldschmidt (C.).
Goldschmidt (F.).
Gondard (G.).
Gorce (P. de la).
Gosselin (X.).
Gourdeau (G.).
Gourguechon (G.).
Gramont (A. de).
Grassot (E.).
Gratzmuller (L.).
Griffisch (G.).
Grosdidier (H.).
Grosselin (J.).
Guénet (J.).
Guérin (P.).
Guillet (L.).
Guillon (E.).
Guinant (E.).
Guthier (P.).
Guyot (J.).

Halphen (A.).
Hamm (L.).
Hanning (W.).
Hardelay (J.).
Hardy (A.).
Harlé (E.).
Hayet (A.).
Hébert (P.).
Héltas (G.).
Heller (R.).
Hennegrave (C.).
Henry (A.).
Henry (R.).
Hérard (F.).
Herbault (C.).
Herrenschmidt (H.).
Hiberty (A.).
Hillairet (A.).
Holzschuch (J.).
Horn (E.).
Huber (M.).
Hugoniot (C.).
Huguët (A.).

Iglésis (S.).
Illovici (A.).
Isambert (A.).

Jacobsen (J.).
Jacquin (C.).
Jacquin (L.).
Janet (P.).
Janin (E.).
Jannettaz (P.).
Janssen (P.).
Japy de Beaucourt (H.).

Jarre (L.).
Jarriant (J.).
Jaubert (J.).
Jaulin (J.).
Javal (J.).
Javaux (E.).
Jeance (M.).
Jean-Joseph (A.).
Jénot (L.).
Johann (C.).
Joly (L.).
Joly (M.).
Josse (H.).
Jouaust (R.).
Joubert (J.).
Jouët (G.).
Jouffret (H.).
Journaux (J.).
Jouvenel (A.).
Jouvion (M.).
Jovignot (C.).
Joyer (G.).
Jumau (L.).

Keller (A.).
Kienast (H.).
Klein (E.).
Kleist (F. de).
Koch (C.).
Korda (D.).
Krafft (V.).
Kraushar (J.).
Krebs.
Krieger (L.).

Laboulaye (De).
Labour (H.).
Laboureur (M.).
Lacauchie (L.).
Lacaze (H.).

La Chapelle (G. de).
Lachave (A.).
Lacretello (G.).
Lainé (M.).
Lalancé (A.).
Lalande (F. de).
Lancelot (F.).
Landrin (P.).
Langot (W.).
Laporte (F.).
Lapresle (A.).
Larbitray (L.).
Larnaude (A.).
Lasnier (J.).
Lasserre (P.).
Latour (M.).
Laudet (G.).
Laurain (H.).
Lauriol (P.).
Lavaur (P.).
Lavezzari (A.).
Léauté (H.).
Le Baron.
Lebrun (M.).
Lecerf (F.).
Le Chatelier.
Leclanché (M.).
Lecomte (A.).
Lecoq (F.).
Ledoux (R.).
Lefèvre (E.).
Legendre (L.).
Legouéz (R.).
Légrand (E.).
Lehmann (J.).
Le Las (M.).
Lelong (R.).
Lembké (H.).
Lemoine (C.).
Lenoir (F.).
Lequaux (P.).
Leroy (G.).
Leroy (J.).
Leroy (M.).
Lesage (R.).
Leson (A.).
Le Soufaché (J.).
Letheule (P.).
Letrou (M.).
Lévy (M.).
Lezard (P.).
Lézy (G.).

Liénard (A.).
Lippmann (G.).
Locherer (J.).
Loménie (C. de).
Loppé (F.).
Lorain.
Lorin (C.).
Lucas (F.).
Lyon (G.).
Lyon (M.).

Machelard (P.).
Madeline (M.).
Maguuna (H.).
Mahoudeau (J.).
Malandrin (J.).
Mambret (G.).
Manaut (G.).
Maquaire (F.).
Marchand et Dreyfus.
Marchena (De).
Marec (E.).
Maréchal (H.).
Mariage (A.).
Mariage (J.).
Marie (G.).
Marqueyrol (M.).
Martin (J.).
Mascart (C.).
Mascart (L.).
Masson (G.).
Masson (L.).
Mathieu (P.).
Maugas (G.).
Maunoury.
Mayer (N.).
Ménage (M.).
Ménier (G.).
Ménier (H.).
Mercadier (E.).
Mercier (E.).
Mercier (R.).
Menuau (C.).
Messmer (A.).
Mestre (M.).
Meyer (F.).
Meyer (G.).
Meyer (M.).
Meyer-May (A.).
Micaud (G.).
Michaux (L.).
Michel (C.).

Mildé (C.).
Mille (J.).
Minard (J.).
Miramont (P.).
Mix (E.).
Moineau fils (H.).
Mongin (E.).
Monmerqué (A.).
Monnier (D.).
Monthiers (M.).
Montpellier (J.).
Moreau (J.).
Morel-Fatio (L.).
Mors (L.).
Morwitz (J.).
Moulin (M.).
Mousset (E.).

Nathan (G.).
Negrié (J.).
Nelson-Uhry.
Nerville (F. de).
Neu (L.).
Neufeld (L.).
Nicol (J.).
Nicolas (P.).
Nicolini (E.).
Nissou (G.).
Noé (C.).
Noellet (P.).
Nouvelle (G.).
Nuchèze (H. de).
Nury (J.).

Pallier (F.).
Papillon.
Paraf (J.).
Parent (L.).
Parisse (E.).
Parodi (H.).
Parsons (F.).
Parvillée (A.).
Parvillée (L.).
Pataud (H.).
Patot (H.).
Pellat (H.).
Péreire (G.).
Périn (L.).
Pérot (A.).
Pérouse (D.).
Perrier (R.).
Perrin (P.).

Petit (A.).
Petit (G.).
Petit (G.-E.).
Petit (J.).
Petit (P.).
Petitalot (L.).
Petsche (A.).
Peyré (G.).
Pill (A.).
Picot (P.).
Picou (R.-V.).
Pignier (P.).
Pilleux (L.).
Pillier (L.).
Pirani (E.).
Piroelle (M.).
Pistoye (H. de).
Planchon (F.).
Poincaré (L.).
Polack (R.).
Polack (S.).
Pollak (C.).
Pollard (J.).
Pomey (J.).
Poncet (R.).
Popp (V.).
Pornin (R.).
Postel-Vinay (A.).
Poulenc (C.).
Poussif (G.).
Prat (F.).
Priestley (C.).
Pruval (F.).

Quiroga (P.).

Racapé (A.).
Ragonot (E.).
Randier (P.).
Rateau (A.).
Rau (L.).
Raveau (C.).
Raymond (L.).
Raymond (R.).
Rechniewski (W.).
Recklinghausen (M. de).
Reclus (A.).
Redon (L.).
Reiss (J.).
Rémon (O.).
Renard (L.).
Renault (S.).

- Réol (G.).
 Rey (J.).
 Rey (L.).
 Reynaud (J.).
 Reynier (A.).
 Reyss (J.).
 Ribière (C.).
 Riccia (A. della).
 Richard (F.).
 Richard (G.).
 Richard (J.).
 Riegel (L.).
 Rios-Cogollos (J.).
 Robard (R.).
 Robert (A.).
 Robillard (G.).
 Robinet (L.).
 Rochefort-Lucay (O. de).
 Rodet (J.).
 Rodocanachi (E.).
 Rohel (E.).
 Roger (E.).
 Rohrer (P.).
 Rolland (E.).
 Rollin (L.).
 Rosen (J.).
 Rosier (M.).
 Rothschild (E. de).
 Rothschild (G. de).
 Rouart (A.).
 Roubaud (F.).
 Roussel (M.).
 Rousset (C.).
 Roux (B.).
 Roux (G.).
 Roy (L.).
 Roycourt (E.).
 Royer (H.).
 Ruelle (A.).
 Sabatier (L.).
 Sebourain (J.-A.).
 Sabouret.
 Sacquet (E.).
 Saint-Léger (J. de).
 Saint-Martin (H.).
 Saivre (M. de).
 Saladin (E.).
 Santa-Maria (R. de).
 Santerre.
 Sartiaux (A.).
 Sartiaux (E.).
 Sauvage (C.).
 Sauvage (P.).
 Sauze (E.).
 Schombourger (L.).
 Sciamia (G.).
 Sébert (Général).
 Sée (R.).
 Séguier (P. de).
 Seiler (A.).
 Seligmann-Lui (G.).
 Semichon (J.).
 Senet (J.).
 Sergot (G.).
 Serrin (H.).
 Siegfried (J.).
 Simonet (J.).
 Sire de Vilar (H.).
 Siry (E.).
 Société anonyme des Glaces
 de Saint-Gobain.
 Société centrale d'Électri-
 cité.
 Société française Œrlikon.
 Société de l'Éclairage élec-
 trique.
 Société parisienne pour l'In-
 dustrie des Chemins de
 fer et Tramways.
 Sogno-Lafongt (E.).
 Sosnowski (K.).
 Souben (G.).
 Street (C.).
 Stugocki (A.).
 Sudria (J.).
 Szarvady (G.).
 Tachard (A.).
 Tamm (H.).
 Tanner (A.).
 Tartary (G.).
 Taubé (De).
 Tavernier (C.).
 Teissier du Cros (H.).
 Terquem (E.).
 Terrel (L.).
 Texier-Bernier (G.).
 Thévenard (A.).
 Thiébaud (V.).
 Thielemans (L.).
 Thiercelin (P.).
 Thirion (C.).
 Thoisy (P. de).
 Thomas (H.).
 Thurnauer (E.).
 Tillot (M.).
 Tirefort (C.).
 Tison (E.).
 Tonnart (A.).
 Tosi (A.).
 Touanne (de la).
 Toulon (P.).
 Tournaire (C.).
 Traz (J. de).
 Tresca (G.).
 Tripiér (A.).
 Tripiér (H.).
 Tritz (M.).
 Troller (A.).
 Troost (L.).
 Turenne (P.).
 Uzel (P.).
 Ullmann (J.).
 Valbreuze (R. de).
 Vallée (G. de).
 Vaublanc (C. de).
 Vaudrey (P.).
 Vedovelli (E.).
 Vernes (A.).
 Vernet (F.).
 Vernisy (R. de).
 Véry (H.).
 Vial (J.).
 Vigerie (R.).
 Vigneron (E.).
 Viguerie (C.).
 Villard (P.).
 Ville Le Roulx (P. de la).
 Vincens (E.).
 Violet (L.).
 Violle (J.).
 Vivarez (H.).
 Vivien (A.).
 Vourloud (P.).
 Vuigner (E.).
 Walckenaer (C.).
 Wall (C.).
 Wallut (R.).
 Warnery (F.).
 Weiersmuller (G.).
 Weill (H.).
 Weiller (L.).

Weiss (G.).
Weissmann (G.).
Weyer (V.).
Widmer (J.).
Winch (J.).
Witzig (A.).
Wuilleumier (H.).
Zetter (C.).

PUTEAUX

Langlade (J.).
Lesueur (A.).
Vermain (A.).

SAINT-MANDÉ

Couillard (L.).
Durupt (C.).
Helmer (O.).
Laville (C.).
Ordinaire (J.).
Revel (A.).
Risler (T.).

SAINT-MAURICE

Brait de la Mathe.

SAINT-OUEN

Guillez (L.).
Küntziger (J.).

SCEAUX

Boitel (L.).

SURESNES

Eclancher (V.).
Michel (C.).
Viry (P.).

VANVES

Chambost (P.).
Corniliaux.
Jigouzo (P.).

LA VARENNE-SAINT-HILAIRE

Caillavet (L.).

VILLEJUIF

Berland (L.).

VINCENNES

Babillot (G.).
Lorfeuvre (M.).

VITRY-SUR-SEINE

Pavie (G.).

SEINE-ET-MARNE

AVON

Colusse (E.).

CHAMPAGNE-SUR-SEINE

Cottard (J.-B.).

FONTAINEBLEAU

Baudran (E.).
Chevalier (L.).

MORET-SUR-LOING

Bouquet (R.).

SAINT-MAMMÉS

Durand (E.).

SEINE-ET-OISE

BELLEVUE

Gallice (G.).

CORBEIL

Rousseau (A.).

CROISSY-SUR-SEINE

Leblanc (M.).

ENGHIEN-LES-BAINS

Chalmel (L.).
Fourré (F.).
Ravut (C.).

ERMONT

Bergeron (L.).
Jacob (P.).

GARCHES

Guichard (M.).
Pontcharra (F. de).

HERBLAY

Boireaux.

MAISONS-LAFFITTE

Neveux (J.).
Péroux (E.).

MASSY

Picard (P.).

MEUDON

Bernard (A.).
Sekutowicz (L.).
Tainturier (C.).

MONTGERON

Roberjot (H.).

MONTMORENCY

Fargues (J.).
Schlumberger (G.).

MONTRETOUT

Roussel (M.).

LE RAINCY

Guilbert (C.).

RUEIL

Boucherot (P.).

SAINT-CLOUD

O'Keenan (C.).
Vulcanesco (G.).

SAINT-GERMAIN-EN-LAYE

Michel (A.).

S^t-GERMAIN-LES-CORBEILLE

Liouville (L.).

SAINT-OUEN-L'AUMÔNE

Gateau (R.).

SÈVRES

Guillaume (Ch.).

VERSAILLES

Alglave (E.).
Caussin de Perceval (M.).
Clément (C.).
Gall (H.).
Nugues (L.).
Prez-Crassier (J. de).

VÉSINET (LE)

Cantelaube (P.).

SEINE-INFÉRIEURE

ELBEUF

Cléry-Melin (E.).

GRAVILLE-SAINTE-HONORINE

Stahl (J.).

HAVRE (LE)

Blot (P.).
Brun (D.).
Debrunner (A.).
Dennis (F.).
Esbran (L.).

Foulhouze (A.).
Hefty (A.).
Roussel (A.).
Rouyer (J.).
Thomas (S.).
Unné (G.).

ROUEN

Aubry (J.).
Canart (L.).
Morel (C.).

SAINTE-ADRESSE

Bouette (W.).

LE TRÉPORT

Gignon (C.).

SÈVRES (DEUX-)

NIORT

Leyendecker (L.).

PARTHENAY

Rambeaud (R.).

SOMME

ALBERT

Casas (L.).

AMIENS

Association des Propriétaires d'appareils à vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise.

Blondel (L.).
Sannier (R.).
Tacquet (P.).
Vagniez (B.).

TARN

ALBI

Luszczkiewicz (J.).
Soucadauch (R.).

CARMAUX

Rouvel (V.).

CASTRES

Anglade (J.).

TARN-ET-GARONNE

MONTAUBAN

Castan (A.).

TERRITOIRE DE BELFORT

BEAUCOURT

Japy frères et C^{ie}.

BELFORT

Belfils (G.).
Berthier (A.).
Charpentier.
Grosrenaud (R.).
Heilmann (J.).
Lecat.
Perrin (A.).
Zweifel (G.).

VALDOIE (LE)

Herrgott (J.).

VAR

TOULON

Couade (M.).
Delage.
Desfontaines (G.).
Péridier (J.).
Provensal.
Savatier (L.).

VAUCLUSE

AVIGNON

Dusaughey (E.).
Ferré (F.).
Henrion (E.).
Loudrier (A.).
Nouguier (L.).

BÉDARRIDES

Claparède (E.).

ORANGE

Gaillard (H.).

VIENNE

CHATELLERAULT

Leclerc (H.).

POITIERS

Turpain (A.).

VIENNE (HAUTE-)

LA CÔTE

Barennes (H.).

COUZEIX

Taboury (P.).

LIMOGES

Biles (P.).
Guasson (B.).
Raynal (L.).

VOSGES

FRAIZE

Pernot (P.).

PLOMBIÈRES-LES-BAINS

Lagabbe (C. de).

SAULXURES

Guesde (M.).

YONNE

AUXERRE

Bressot (J.).
Saumon (G.).

ALGÉRIE

ALGER

Cardot (A.).
Cohen-Jonathan (S.).
Montès (H.).

ORAN

Malaussène (A. de).

COLONIES FRANÇAISES

et Pays de Protectorat.

COCHINCHINE

SAÏGON

Plisson (J.).
Simonin (A.).

TONKIN

HAÏPHONG

Barrière (J.).

HANOÏ

Dussaix (H.).

MARTINIQUE

FORT-DE-FRANCE

Mével (P.).

SÉNÉGAL

DAKAR

Bähr (G.).

TUNISIE

BIZERTE

Cruchon (L.).

SFAX

Reboul (A.).

TUNIS

Mouchard (L.).

ÉTRANGER.

ALLEMAGNE

AIX-LA-CHAPELLE

Jacobsfeld (S.).

BERLIN

Bodenstedt (F.).

Hissink (J.).

Péscz (L.).

Priluker (J.).

FRIBOURG

Blasberg (E.).

Himmelsbach frères.

HAGEN I. W.

Bécot (H.).

METZ

Hertzog (G.).

MULSHEIM-SUR-RHIN

Felten et Guillaume.

STRASBOURG

Fritz (H.).

ANGLETERRE

BIRMINGHAM

Ellison (G.).

DORSET

Adams (W.).

EALING W.

Cleghorn (J.).

FOLKESTONE

Herrero (W.).

HAMPTON-WICK

Waterhouse (L.).

LONDRES

Bentley (S.).

Braby (I.).

Daniell (F.).

Gatehouse.

Gray (C.).

Gray (R.).

Gray (W.).

Joly (H.).

Kempe.

Lynch (A.).

Mathieu (C.).

Moulton (J.).

Le Nève-Foster (A.).

Sabine (A.).

Sellon (J.).

Stroh (A.).

MANCHESTER

Simpson (G.).

NEWCASTLE-ON-TYNE

Proctor (C.).

OXFORD

Clifton (R.).

SURREY

Preece (W.).

TWYFORD

Massey (W.).

VALENTIA

Graves (J.).

WELLS

Salomons (D.).

WEYBRIDGE

Bidwell (S.).

COLONIES ANGLAISES

CANADA

Begin (L'abbé).

Dalémont (J.).

Sedziak (F.).

INDES

Marshall (N.).

Winter (G.).

**ARGENTINE
(RÉPUBLIQUE-)**

CONCORDIA

Coulon (L. de).

ROSARIO

Girard (C.).

AUTRICHE

AGRAM

Dvorak.

BRUNN

Niethammer (F.).

BUDAPEST

Direction générale des
Postes et Télégraphes de
Hongrie.

Hevesy (G.).

Réthy (O.).

PRAGUE

Krizik (F.).

RADMANNSDORF

Polignac (Prince de).

VIENNE

Ziffer (E.).

BELGIQUE

BRUXELLES

Banneux (J.).
Bède (E.).
Closset (E.).
Dierman (W.).
Gérard (E.).
Hacart (F.).
Heyland (A.).
Rouma (A.).
Sarrat (F.).
Solvay (E.).

GAND

Kerchove (P. van den).
Mensbrugge (G. Van der).

ISEGHEM

Ameye (C.).

LIÈGE

Gérard (E.).
Ortmans (J.).
Pieper (H.).

MENIN

Mathieu (E.).

MONS

Macquet (A.).

PALISEUL

Egli (A.).

VILLEBROECK

Naeyer et C^{ie} (de).

BRÉSIL

BAHIA

Meirelles de Silva.

RIO-DE-JANEIRO

Almeida Lisboa (de).
Grandmasson (E.).

SAO PAULO

Guilhem (E.).

BULGARIE

SOFIA

Meunier (P.).

VARNA

Nedeff (N.).

S.

CHILI

SANTIAGO

Edwards (R.).

CHINE

PÉKIN

Bouillard (G.).

SHANGHAI

Château (P.).

ÉGYPTE

LE CAIRE

Burton (C.).
Martin (G.).

KORACHIEH

Crovisier (C.).

PORT-SUDAN

Imbault (G.).

ESPAGNE

BARCELONE

Berenguer (L.).
Masó Escubós (E.).

CADIX

Garcia de la Mata.

GERONA

Xifra (N.).

GRENADE

Delorme (A.).

LA CAROLINA

Marting (E.).

LOGROSAN

Martel (C.).

MADRID

Constantin (L.).
École spéciale des Usines.
Fournier (H.).
Hauser (H.).
Madariaga (J.).
Rouët de Journal.
Sanchez Cuervo (L.).

SAN-QUIRICO-DE-BESORA

Pagès (A.).

SANTANDER

Escalante (J.).

Vial (C.).

VALENCE

La Casta y Espana.

VIGO

Cervera y Jacome (L.).

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

AMPÈRE

Heitmann (E.).

BOSTON

Jackson (D.).

CHICAGO

Waitt (H.).

ENGLEWOOD

Weawer (W.).

GREAT-BARRINGTON

Stanley (W.).

NEW-JERSEY

Hamilton (G.).

NEW-YORK

Cannes (I.).
Diény (P.).
Mailloux (C.).
Marks (L.).
Scharp (C.).
Tesla (N.).

PHILADELPHIE

Barker (G.).
Héring (C.).
Hunter (R.).
Russell (C.).

PITTSFIELD

Kelly (J.).

SAN-FRANCISCO

Molera (E.).

SCHENECTADY

Creighton (E.).
Martin (R.).
Steynis (J.).

SWAMPSCOTT

Thomson (E.).

COLONIES AMÉRICAINES

PORTO-RICO

Vives (G.).
Vives y Navaro (C.).

GRÈCE

ATHÈNES

Nicolaïdi (C.).
Pétropoulos (G.).

HOLLANDE

AMSTERDAM

Romeyn (H.).

DEFT

Snijders (J.).

HARLEM

Bosscha (J.).

ROTTERDAM

Doyer (H.).

SCHEVENINGUE

Menges (C.).

VENLO

Trenzen (D^r C.).

WAGENINGUE

Vloten (F. van).

ITALIE

CATANIA

Grimaldi (G.).

MILAN

Arno (R.).
Bruni (A.).
Maiuri (G.).

NAPLES

Semmola (E.).

SAVONE

Dotta (A.).

TURIN

Bellini (E.).
Cattaneo (R.).
Moreno (O.).

VILLAFRANCA-IN-LUNIGIANA

Mailly (P.).

JAPON

TOKIO

Ohdatchi (G.).
Stone (W.).

MEXIQUE

MEXICO

Louvrier (F.).
Matty (L.).
Pinson (E.).
Urquidi (F.).

ZACATECAS

Thiriet (J.).

MONACO

(PRINCIPAUTÉ DE)

MONTE-CARLO

Cabirau (H.).

PORTUGAL

COÏMBRA

Viégas (D^r).

GAYA

Paiva (De).

LISBONNE

Borges (F.).
Brito (A. de).
Cabral (P.).
Castanheira das Neves.
Hermann (M.).
Miet (M.).
Triguieros de Martel.

PORTO

Albuquerque (F. d').

RÉPUBLIQUE DE BOLIVIE

HUANCHACA

Ambrières (G. d').

ROUMANIE

CONSTANTZA

Jijie (A.).

BUCAREST

Cosmovici (A.).
Costiesco (M.).
Fournaraki (L.).
Negreano (D.).
Olivier (G.).
Vasesco (D.).
Vasilescu-Karpen.

JASSY

Hurmuzescu (D.).
Varlanescu (J.).

RUSSIE

EKATERINOSLAW

Fedoroff (M.).

KHARKOV

Piltchikoff (N.).

KRASNY-HOLM

Mychencov (C.).

LIGOVO

Lemattre (M.).

MOSCOU

Lindé (F.).

PIKELI

Oraw (J.).

ROSTOW-SUR-DON

Panine (W.).

RYKOUSKI

Sellier (A.).

SAINT-PÉTERSBOURG

Chelminski (L.).
Gavriloff (J.).
Krakau (A.).
Lodyguine (de).
Moskalew (W.).
Roundo (A.).
Tchernosvitoff (N.).

SARATOF

Jelenkowski (J.).

VARSOVIE

Eytner (P.).
Hannothiaux (E.).
Krakowski (L.).
Opechowski (E.).

SARDAIGNE

CAGLIARI

Leone (L.).

SERBIE

NERESNITZA

Mustelier (F.).

SIAM

BANGKOK

Odent (M.).

SUÈDE

STOCKHOLM

Cedergren (H.).

SUISSE

ENNET-BADEN

Litschgi (C.).

CORTAILLOD

Borel (C.).
Borel (F.).

FRIBOURG

Giles (G.).
Kowalski (de).

GENÈVE

Gauthier (P.).
Turrettini (T.).
Vittiner (A.).
Vuilleumier (C.).

LAUSANNE

Aubert (A.).
Landry (J.).
Raoux (L.).

MARTIGNY-VILLE

Dain (H.).

PRILLY

Boucher (A.).

SCHAFFHOUSE

Amsler-Lafon.

SAINT-IMIER

Geneux (F.).

VILLENEUVE

Duflon (L.).

ZURICH

Tauber (K.).
Tobler (A.).
Weber (H.).
Weiss (P.).

TURQUIE

CONSTANTINOPLE

Mehmed Emin.
Pech (L.).
Saïd (M.).
Spathari (C.).
Verdoux (J.).

URUGUAY

MONTEVIDEO

Abal (H.).
Smith (J.).

SALTO

Grivot (A.).



LISTE DES PÉRIODIQUES

REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS.

La Bibliothèque est ouverte aux Membres de la Société tous les jours de 3^h à 6^h,
excepté les dimanches et jours fériés.

France. — PARIS.

Annales des Mines.

Association française pour l'avancement des Sciences.

Bulletin de l'Association des Industriels de France contre les accidents du travail.

Bulletin de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur.

Bulletin de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston.

Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Industrie nationale.

Bulletin de la Société française de Photographie.

Bulletin du Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers.

Bulletin technologique de la Société des anciens élèves des Écoles nationales d'Arts et Métiers.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences.

Compte rendu des séances des Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

Électricien (L').

Génie civil (Le).

Industrie électrique (L').

Journal de l'École Polytechnique.

Journal de Physique théorique et appliquée.

Lumière électrique (La).

Mois scientifique et industriel (Le).

Nature (La).

Radium (Le).

Revue électrique (La).

Revue générale des Chemins de fer et des Tramways.

Revue de Mécanique (La).

Revue de Métallurgie (La).

Revue scientifique (La).

Société des Ingénieurs civils de France (Mémoires et Procès-verbaux).

Société de Physique (Séances de la).

France. — DÉPARTEMENTS.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille.
Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse.
Archives d'Électricité médicale de Bordeaux.
Bulletin de la Société scientifique industrielle de Marseille.
Bulletin de la Société industrielle du Nord de la France, de Lille.
Bulletin de la Société industrielle de l'Est.
Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse.

Étranger.

ALLEMAGNE.

Beiblätter zu den Annalen der Physik.
Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen.
Elektrotechnische Zeitschrift.
Fortschritte der Elektrotechnik.
Institut Impérial Physico-technique.
Physikalische Zeitschrift.
Zeitschrift für Elektrochemie.
Zeitschrift für Instrumentenkunde.
Zeitschrift für Schwachstromtechnik.

ANGLETERRE.

Central (The), organe de la « Central Technical College Old Students' Association ».
Electrical Review.
Electrician (The).
Engineering.
Illuminating Engineer (The).
Journal of the Institution of Electrical Engineers of London.
Journal of the Society of Arts.
National Physical Laboratory (The).
Patent office Library.
Science Abstracts.

AUTRICHE.

Elektrotechnik und Maschinenbau.

BELGIQUE.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut Montefiore.
Bulletin de la Société belge d'Électriciens.
Union internationale de Tramways et de Chemins de fer d'intérêt local (Circulaires et Rapports).

DANEMARK.

Den Tekniske Forenings Tidsskrift.

ESPAGNE.

Revista tecnologico industrial.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE.

Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution.

Bulletin of the Bureau of Standards de Washington.

Bulletin of the University of Wisconsin.

Electric Railway Journal.

Electrical Review.

Electrical World.

Engineering Magazine.

Journal of the Franklin Institute.

Proceedings of the American philosophical Society.

Transactions of the American Institute of Electrical Engineers.

Western Society of Engineers.

ITALIE.

Atti della Associazione elettrotecnica italiana.

Elettricista (L').

Il nuovo Cimento.

Ingegneria (L') ferroviaria.

Rendiconto dell'Accademia delle Scienze di Napoli.

PAYS-BAS.

Communications du Laboratoire de Physique de l'Université de Leyde.

PORTUGAL.

Revista de las obras publicas e minas.

RUSSIE.

Zapiski (Annales de la Société technique impériale russe, de Moscou).

SUISSE.

Bulletin technique de la Suisse romande.

Journal de Chimie physique.

Journal télégraphique.

Schweizerische Bauzeitung (Revue polytechnique).

Schweizerische elektrotechnische Zeitschrift.



LISTE DES LIBRAIRES ET ÉDITEURS

ACCORDANT DES REMISES.

Bailliére et fils , 19, rue Hautefeuille, Paris	Remise de	10 %
Béranger ⁽¹⁾ , 15, rue des Saints-Pères, Paris	—	20 %
Bernard , 1, rue de Médicis, Paris	—	20 %
Bernard Tignol , 53 <i>bis</i> , quai des Grands- Augustins, Paris.....	—	10 % jusqu'à 25 ^{fr} 15 % au-dessus
Desforges , 39, quai des Grands-Augus- tins, Paris.....	—	10 %
Dunod et Pinat , 49, quai des Grands-Au- gustins, Paris	—	10 %
Gratier et Rey , à Grenoble.....	—	10 %
Lahure , 9, rue de Fleurus, Paris	—	20 %
— — Périodiques.	—	1 ^{er} sur abonnement ⁽²⁾
Librairie centrale des Sciences , 25, quai des Grands-Augustins, Paris.....	—	10 %
Librairie Larousse , 17, rue du Montpar- nasse, Paris	—	10 %
Plon et Nourrit , 8, rue Garancière, Paris.	—	10 %
Theuveny , 80, rue Taitbout, Paris.....	—	10 %

INSIGNE.

L'insigne en argent est envoyé à tout Membre de la Société qui en fait la demande au Secrétariat, 14, rue de Staël, en joignant un mandat de 5^{fr} au nom du Trésorier.

⁽¹⁾ Adresser les commandes au Secrétariat de la Société, 14, rue de Staël, Paris, 15^e.

⁽²⁾ La réduction sur les abonnements ne peut être faite que lorsque l'éditeur a été prévenu à l'avance de la qualité de l'abonné.

43222 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

Index 1870-1873

TOME IX. (2^e SÉRIE.)

N^o 90.

DÉCEMBRE 1909.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE
DES
ÉLECTRICIENS.

Société reconnue d'utilité publique par décret en date du 7 décembre 1886.



SIÈGE SOCIAL :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.

LABORATOIRE :
12 ET 14, RUE DE STAEL,
PARIS.

PRIX DE L'ABONNEMENT POUR UN AN (à partir de janvier) :
PARIS..... 25 FR. | DÉPARTEMENTS ET UNION POSTALE.. 27 FR.

Prix du Numéro : 2 fr. 50 c.

On s'abonne sans frais dans tous les Bureaux de poste.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1909

Ce Recueil paraît chaque mois.

La reproduction des Mémoires publiés dans le BULLETIN est subordonnée à l'autorisation du Comité et à l'assentiment des Auteurs.
Les demandes de tirages à part doivent être faites en déposant les manuscrits.

ACCUMULATEURS

POUR

Allumage

Voitures électriques

Éclairage des habitations

HEINZ

Bureaux et Usine : 27, rue Cavé

TÉLÉPHONE
537.58

LEVALLOIS-PERRET

FABRIQUE SPÉCIALE DE MOULES

POUR

PLAQUES D'ACCUMULATEURS

de tous systèmes

Et tous objets destinés à être fondus en PLOMB, ÉTAIN ou ALLIAGE d'ALUMINIUM

APPAREILS pour l'EMPATAGE et la PERFORATION

G. WEIERSMULLER, Constructeur-Mécanicien

8, rue de Tourtille, PARIS (XX^e arr.). — Téléphone 940.28.

Lampe SIRIUS KOLLOÏD

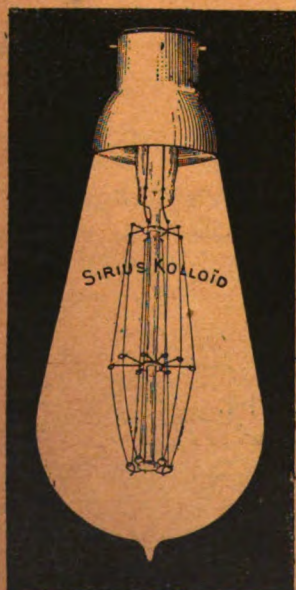
à FILAMENT MÉTALLIQUE

1 WATT PAR BOUGIE 70% d'ÉCONOMIE

de 6 à 250 Volts

Fonctionne dans toutes les positions

En vente chez tous les Électriciens



USINE à IVRY

91, rue Molière

SOCIÉTÉ A^{ME} DES USINES PINTSCH

46, rue d'Anjou, PARIS

Téléphone 205,55

ATELIERS RUHMKORFF

J. CARPENTIER

Ingénieur-Constructeur

PARIS. — 20, rue Delambre. — PARIS.

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

Boîtes de résistances industrielles et de précision. — Galvanomètres. — Wattmètres. — Ohmmètres. — Pyromètres électriques. — Ampèremètres et voltmètres industriels et de précision. — Installations pour l'essai des fers. — Oscillographes et rhéographes. — Manographe Hospitalier-Carpentier. — Bobines Ruhmkorff pour allumage des moteurs. — Matériel pour radiographie et télégraphie sans fil.

FILS ET CABLES

POUR L'ÉLECTRICITÉ

R. ALLIOT & ROL

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

38, rue de Reuilly, 38

PARIS

TÉLÉPHONE



BALAIS ÉLECTRIQUES

Spécialité de Balais feuilletés
EN PAPIER MÉTALLIQUE
Brevetés en tous pays.

Métal spécial laminé à 2 ou 3 centièmes de millimètre d'épaisseur.

BALAIS EN TOILE MÉTALLIQUE

BALAIS EN CHARBON

PORTE-BALAIS "SUPRA" *Brevetés en tous pays.*

L. BOUDREAU

8, Rue Hautefeuille, 8. — PARIS (VI^e)

Adresse Télégraphique
LYBOUDREAU-PARIS ☎ Téléphone 816-71

SOCIÉTÉ ANONYME DES ÉTABLISSEMENTS

Capital social : 2.250.000 francs.

ADT

TÉL. 152-40

Usines à PONT-A-MOUSSON et à BLÉVOD (Neurthe-&-Moselle). — Siège social à PARIS, 45, rue Turbigo.

Dépôt à PARIS : 3, rue Cunin-Gridaine (Arts-et-Métiers).

TUBES ISOLATEURS ADT — ARTICLES ISOLANTS

en véritable "ISOLITE"

Armés de Laiton, de Tôle d'acier plombée,
de Tôle d'acier galvanisée, cuivrée,
ou d'Acier étiré sans soudure (Cuirassés).

Catalogues, Guides,
Echantillons sur demande.



SE MÉFIER
DES
IMITATIONS



Matériel d'installations
et de constructions électriques : Couvercles, Bacs,
Bobines, Socles, Pièces détachées de toutes sortes.

Éclairage de Secours du Métro-
politan, etc. Etat, Ville, Chemins de
fer, Usines, etc., etc.

APPAREILS DE MESURES ÉLECTRIQUES

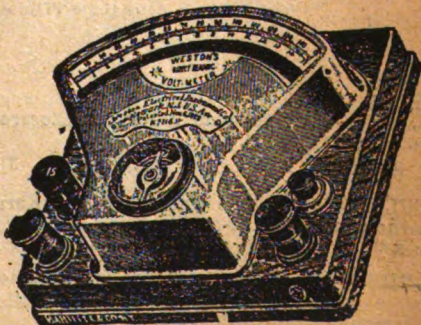
APÉRIODIQUES ET DE LA PLUS GRANDE PRÉCISION.

« WESTON »

« LORD KELVIN »

E.-H. CADOT & C^{IE}

12, rue Saint-Georges,
PARIS.



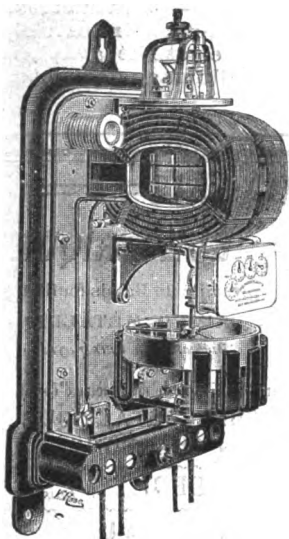
DEMANDER LES CATALOGUES SPÉCIAUX A CES APPAREILS

COMPAGNIE ANONYME CONTINENTALE
POUR LA FABRICATION DES
COMPTEURS
A GAZ ET AUTRES APPAREILS

Ancienne Maison J. BRUNT & C^{ie}

CAPITAL : 2.250.000 FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 9, Rue Pétrele, PARIS (IX^e).



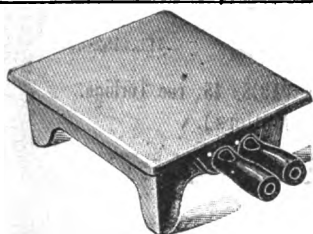
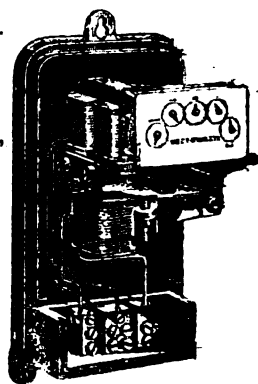
COMPTEUR D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
"VULCAIN"

pour Courants CONTINUS et pour Courants ALTERNATIFS.

Compteur "COSINUS"

pour courants alternatifs mono et polyphasés,
pour circuits d'utilisation à forte charge inductive.

COMPTEURS A DÉPASSEMENT
ET A DOUBLE TARIF



USINES DU PIED-SELLE, A FUMAY (ARDENNES)

Appareils de CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE
TOILES RÉSISTANTES pour Rhéostats

Envoi franco Catalogue, Devis et Renseignements

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS,

Quai des Grands-Augustins, 55, à Paris (6^e).

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat de poste ou valeur sur Paris.

MULLER (P.-Th.), Professeur à l'Université de Nancy. — *Lois fondamentales de l'Electrochimie.* Petit in-8 (19×12). 1904.

Broché.. 2 fr. 50 | Cartonné... 3 fr.

MÉCULÉA (E.). — *Le Phénomène de Kerr et les Phénomènes électro-optiques.* In-8 écu (20×13) de x-91 p. avec 14 fig. cart. (C. S.); 1902... 2 fr.

PAUMIER (L.), Directeur de l'Observatoire du Vésuve. — *Lois et origines de l'Electricité atmosphérique.* Traduit de l'italien par P. Marcillac et A. Brunet. Petit in-8, avec fig., 1885. 1 fr. 50 c.

PELLAT (H.), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris. *Cours d'électricité.* Cours de la Faculté des Sciences de Paris. Trois volumes grand in-8 se vendant séparément :

TOME I : Electrostatique. Lois d'Ohm. Thermo-électricité. avec 145 figures; 1901..... 10 fr.

TOME II : Electrodynamique. Magnétisme. Induction. Mesures électromagnétiques, avec 224 figures; 1903..... 18 fr.

TOME III : Electrolyse. Electrocapillarité. Ions gazeux. Volume de vi-290 pages, avec 77 figures; 1903..... 10 fr.

ANCIENNE MAISON MICHEL & C^{IE}

C^{ie} pour la FABRICATION des COMPTEURS et MATÉRIEL d'USINES à GAZ

Société Anonyme : Capital 8 000 000 de francs. — 16 et 18, boulevard de Vaugirard. PARIS.

COMPTEURS D'ÉLECTRICITÉ

Thomson pour courants continu et alternatif.

O'K pour courant continu.

A. C. T. pour courants alternatif, diphasé et triphasé.

COMPTEURS SUSPENDUS POUR TRAMWAYS

Compteurs à double tarif, à indicateur de consommation maxima, à dépassement, à tarifs multiples (Syst^{me} Mähl), à paiement préalable (Syst^{me} Berland).

APPAREILS DE MESURES

Système MEYLAN-D'ARSONVAL

AMPÈREMÈTRES — VOLTMÈTRES — WATTMÈTRES

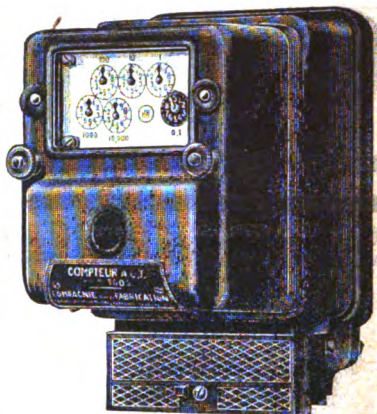
Fluxmètre Grassot. — Pyromètres Fèry. — Ondographe Hospitalier.

Exposition Internationale des Applications de l'Électricité, Marseille 1908. — HORS CONCOURS

Adresse télégraphique : Compto-Paris. — Téléphone : 708.03-708.04.



Compteur Thomson M* A.



Compteur A. C. T. 111.

VILLE DE CALAIS.

Concession

d'une distribution d'énergie électrique sur tout le territoire de la Commune.

La ville de Calais se propose d'accorder une concession de 40 années pour la distribution de l'énergie électrique pour tous usages avec privilège pour l'éclairage public et privé.

Calais est une ville industrielle de 70000 habitants dans laquelle il y a une tendance marquée à substituer l'énergie électrique aux autres procédés actuellement employés comme force motrice et pour l'éclairage.

La Chambre de Commerce possède actuellement quatre grues électriques dont l'alimentation est prévue par la distribution publique.

Les demandes de concession devront parvenir avant le 5 Janvier à la mairie de Calais qui adressera le cahier des charges à toute personne qui en fera la demande.

COMPTEUR HORAIRE

Médaille d'or, Paris 1900.

Pour courants alternatifs et courant continu de 0 à 30 ampères.

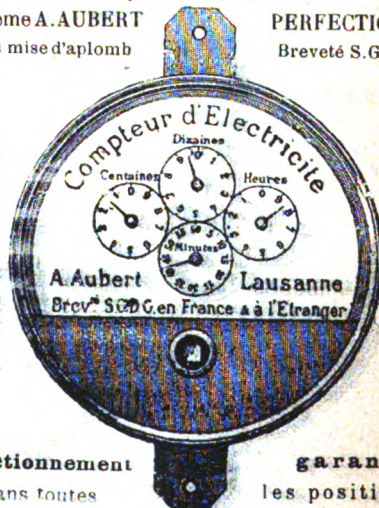
Marchant plus de 500 heures sans être remonté.

Tous les Compteurs sont réglés et vérifiés soigneusement pendant un mois.

Système A. AUBERT sans mise d'aplomb

PERFECTIONNÉ Breveté S.G.D.G.

LE PLUS SIMPLE ET LE PLUS RÉPANDU DE TOUTS LES SYSTÈMES.



LE SEUL POUVANT ÊTRE CONTRÔLÉ FACILEMENT PAR L'ABONNÉ.

Fonctionnement dans toutes

garanti les positions.

40,000 COMPTEURS VENDUS

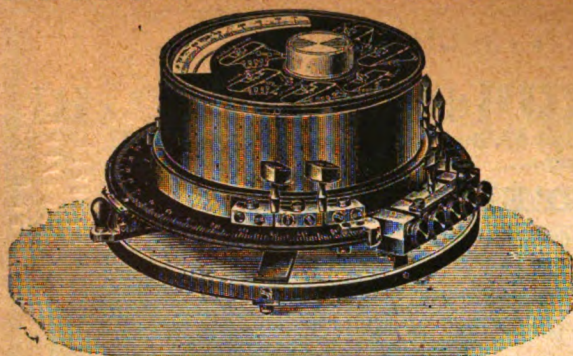
S'adresser directement à :

A. AUBERT, Constructeur, Lausanne (Suisse)

MAISON ROUSSELLE & TOURNAIRE

Société anonyme au capital de 500 000 francs.

52, rue de Dunkerque, Paris (IX^e)



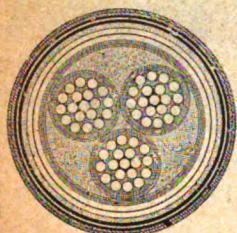
Galvanomètre universel de précision.

Demander
LE
NOUVEAU CATALOGUE
N° 51
APPAREILS de MESURE
pour
TABLEAUX
DE DISTRIBUTION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CABLES ÉLECTRIQUES

Anonyme au capital de 1.300.000 francs.

Système BERTHOUD, BOREL et C^{ie}.



Siège social et Usine :
11, Chemin du Pré-Gaudry
LYON

CABLES SOUTERRAINS

Pour courant continu, alternatif, mono ou polyphasé.

CABLES A HAUTES TENSIONS

RÉSEAUX FONCTIONNANT :

A LYON : à 50 000 VOLTS CONTINUS

EN SAVOIE : à 40 000 VOLTS ALTERNATIFS

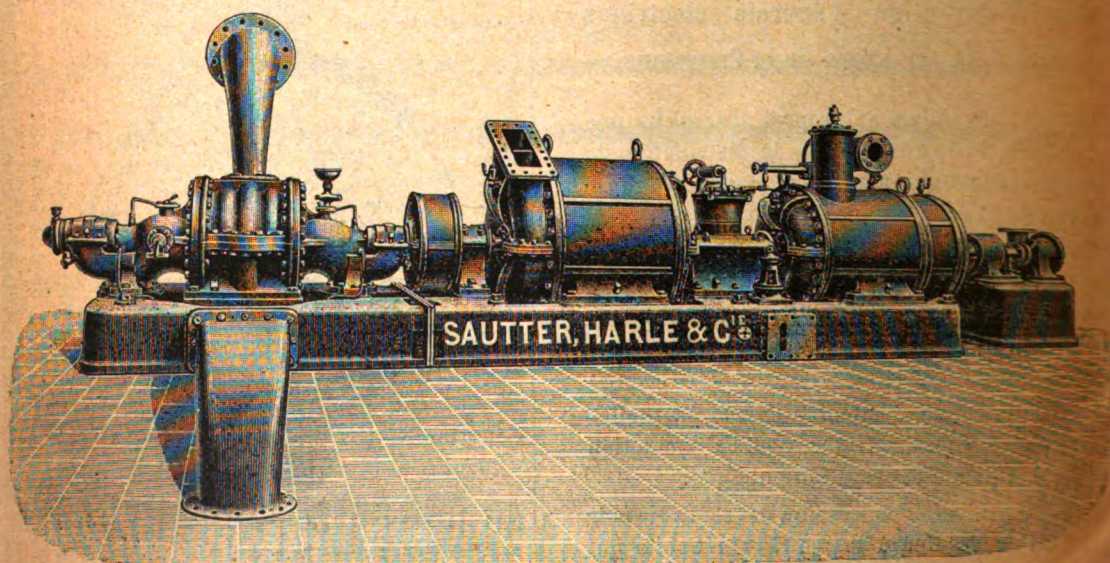
Bureaux à PARIS :

26, rue Godot-de-Maurei.

TURBINES A VAPEUR

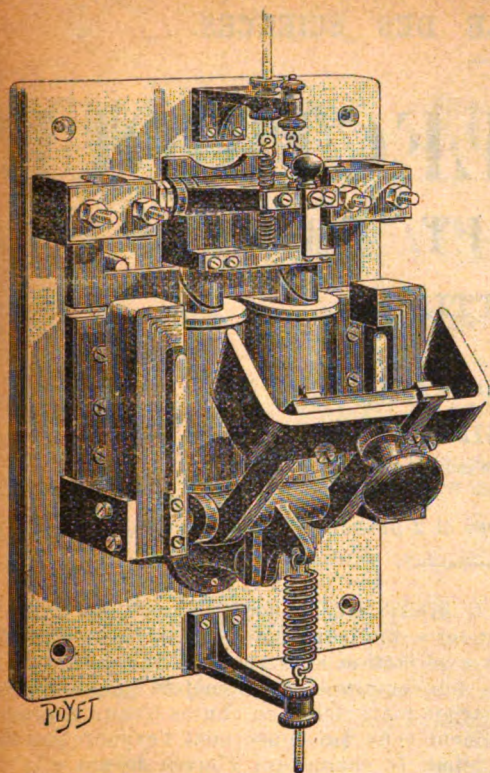
TURBO-ALTERNATEURS, TURBO-VENTILATEURS

TURBO-POMPES



PARIS. — 26, Avenue de Suffren. — PARIS.

MANUFACTURE D'APPAREILS ELECTRIQUES J.-A. GENTEUR



122, avenue Philippe-Auguste,
PARIS (XI^e).

TÉLÉPHONE (N° 940-38).

Exposition universelle de 1900 : MÉDAILLE D'OR

SPÉCIALITÉ

DE

Tableaux de distribution

Fabrication robuste et soignée.

DEMANDER LE NOUVEAU CATALOGUE ILLUSTRÉ.

PARIS 1889, 1900
SAINT-LOUIS, 1904
MILAN, 1906
LIÈGE, 1905
HORS CONCOURS
Membre du Jury

MESURES ELECTRIQUES



Enregistreurs et Appareils de Tableaux.

AMPÈREMÈTRES, VOLTMÈTRES, WATTMÈTRES,

COURANTS CONTINUS ET COURANTS ALTERNATIFS.

Modèle électro-magnétique à apériodicité réglable (Brev. S. G. D. G.) sans aimant permanent.

Modèle apériodique de précision à cadre d'Arsonval.

Modèle thermique à consommation réduite (Brev. S. G. D. G.)

Boîtes de contrôle, Ohmmètres, Compteurs horaires, etc.

Nouveaux Modèles complètement apériodiques BREVETÉS S. G. D. G.

Appareils à cadrans combinés et Enregistreurs

Pour traction électrique : tramways, chemins de fer, électromobiles, etc.

JULES RICHARD, Fondateur et Successeur de la Maison Richard frères,

25, Rue Mélingue (anc. Imp. Fessart), PARIS.

Exposition et Vente : 10, rue Halévy (près l'Opéra).

Envoi franco du Catalogue.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, A PARIS (6^e)

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

POINCARÉ (H.), membre de l'Institut. — Électricité et optique. La lumière et les théories électrodynamiques, leçons professées à la Sorbonne en 1888, 1890 et 1899. 2^e édition revue et complétée par J. BLONDIN, agrégé de l'Université, et EUGÈNE NÉCULCEA, licencié ès sciences. Grand in-8, (25×16) de x-641 pages, avec 62 fig.; 1901..... 22 fr.

RODET (J.), Ingénieur des Arts et manufactures. — Résistance, Inductance et Capacité. Volume in-8 (23×14) de x-257 pages, 76 figures; 1905.. 7 fr.

RODET (J.), Ingénieur des Arts et Manufactures. — Distribution de l'énergie par courants polyphasés. 2^e édition entièrement refondue. In-8 de ix-564 pages; 1903..... 15 fr.

SMITH (Edgar-F.), Professeur de Chimie à l'Université de Pennsylvanie. — Analyse électrochimique. Traduction publiée avec l'autorisation de l'auteur, d'après la deuxième édition américaine, revue et augmentée; suivie d'un Index bibliographique par JOSEPH ROSSER, Ingénieur civil des Mines In-18 Jésus avec 27 figures; 1900..... 3 fr

BIBLIOTHÈQUE GÉNÉRALE DES SCIENCES.

TRACTION ÉLECTRIQUE

CONSTRUCTION ET PROJETS

Par G. SATTLER,

Ingenieur.

OUVRAGE TRADUIT DE L'ALLEMAND

Par Pierre GIROT,

Ingenieur des Arts et Manufactures.

Volume in-8 (23-14) de vi-195 pages, avec 123 figures et 2 planches; 1908. 5 fr.

La traction électrique est à l'ordre du jour. Des tramways électriques sillonnent les grandes villes; de nombreux essais sur les chemins de fer ont montré que leur « électrification » ne présente aucune difficulté et, dans un avenir rapproché, leur exploitation sera réalisable au moyen de la houille blanche, son énergie pouvant se transmettre à des centaines de kilomètres sans difficulté. Déjà dans certains pays de montagnes, pauvres en charbon mais riches en chutes d'eau, la grande majorité des transports se font électriquement, notamment ceux qui concernent l'exploitation des mines. La traction électrique est donc à peine à son début, le champ qui s'ouvre devant elle est immense.

L'Ouvrage dont nous présentons la traduction au public français est un Livre pratique mettant de côté les calculs et spéculations théoriques; il permet de résoudre toutes les questions relatives aux installations des tramways et des petites lignes industrielles. De nombreux dessins donnent des détails de construction intéressants. On y trouvera les calculs de la puissance nécessaire pour l'installation de la voie et du réseau d'amenée de courant, avec des modèles de projets et de devis. Aussi sommes-nous convaincu que cette traduction pourra rendre service à tous ceux qui s'occupent de cette question si vivante de la traction électrique ou qui s'y intéressent.

Table des Matières.

CHAP. I. Résistances au mouvement des véhicules à traction électrique. Généralités. Résistance au roulement. Résistance de l'air. Résistance des courbes. Coefficient de traction. Effort de traction sur voie horizontale. Résistance et effort de traction en rampe. Dépenses d'énergie du moteur. Intensité du courant et vitesse en rampe. Consommation en watts d'une motrice. Résistance due à l'inertie. Adhérence. — CHAP. II. Les moteurs de traction électriques. Généralités. Moteurs à courant continu. Moteur série. Démarrage. Régulation de la vitesse. Méthode du rhéostat. Méthode série parallèle. Méthode shunt. Variation de la tension de la source. Moteur shunt. Moteurs à courants alternatifs. Régulation de la vitesse des moteurs à courants alternatifs. Freinage des véhicules électriques. Espace parcouru au lancé. Freinage artificiel. Frein électrique. Frein magnétique. Frein à air comprimé. — CHAP. III. Calcul de la consommation d'énergie d'un véhicule électrique sur rails. Consommation d'énergie maximum. Consommation moyenne d'énergie. — CHAP. IV. Calcul des canalisations des chemins de fer électriques. Ligne de contact aérienne des tramways et des petites lignes de chemins de fer. Retour du courant pour les tramways et les petites lignes de chemins de fer. Alimentation des chemins de fer électriques. — CHAP. V. Construction des feeders. Mesures sur les lignes. — CHAP. VI. Superstructure des chemins de fer électriques. Plans nécessaires. Etude de l'emplacement de la voie. Rails. Différentes espèces de rails. Liaisons mécaniques entre les rails. Aiguilles et croisements. Plans de la voie. Plate-forme de la voie. Ecoulement des eaux. — CHAP. VII. Amenée du courant aux véhicules à traction électrique. Amenée du courant par ligne de contact aérienne. Fil de contact et organe de prise de courant. Suspension de fil de contact. Pose du fil de ligne en alignement droit. Pose du fil de ligne en courbe. Pose des aiguilles aériennes. Ancrages. Pose des isolateurs de section. Mâts. Dispositifs de sécurité pour chemins de fer électriques. Parafoudres. Protection des lignes à bonne tension. Matériel pour ligne aérienne. Arrivée du courant par troisième rail. Amenée du courant par ligne de contact souterraine. — CHAP. VIII. Les automobiles électriques. Equipement d'automobiles électriques avec accumulateurs. Lignes sans rails. — CHAP. IX. Devis et Contrats. Devis pour la construction d'une ligne de tramways. Prescriptions spéciales pour l'exécution de chaussées empierrées ou pavées lors de la pose des voies de tramways. Devis de pose d'une voie de tramway. — INDEX ALPHABÉTIQUE. — PLANCHES I et II.

LES
OSCILLATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES
ET LA
TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Par le Professeur D^r J. ZENNECK

OUVRAGE TRADUIT DE L'ALLEMAND

PAR P. BLANCHIN, G. GUÉRARD, E. PICOT,
Officiers de Marine.

DEUX VOLUMES IN-8 (25-16) SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Les oscillations industrielles. Les oscillateurs fermés à haute fréquence.* Volume de XII-505 pages, avec 422 figures; 1909..... 17 fr.

TOME II : *Les oscillateurs ouverts et les systèmes couplés, les ondes électromagnétiques. La Télégraphie sans fil.* Volume de VI-489 pages, avec 380 figures; 1909..... 17 fr.

Avertissement.

L'édition française des *Oscillations magnétiques* du D^r Zenneck est une traduction presque littérale de l'édition allemande de 1905. Toutefois, l'auteur a bien voulu, en février 1908, nous signaler quelques corrections à apporter à son Ouvrage, et nous en avons tenu compte dans la rédaction définitive.

Nous nous sommes attachés à reproduire aussi exactement que possible le texte original; nous avons même conservé les tournures allemandes, toutes les fois qu'elles nous ont paru particulièrement descriptives.

Cette édition comprend deux Volumes. Le Tome I traite des oscillations industrielles (ou techniques, pour conserver l'expression allemande) et des oscillateurs fermés à haute fréquence. Le Tome II traite des oscillateurs ouverts et des systèmes couplés, des ondes électromagnétiques et de la T. S. F.; enfin le dernier Chapitre est consacré aux propriétés des ondes électromagnétiques et à leur comparaison aux ondes lumineuses.

Nous avons reporté à la fin du Tome II les Tables et les courbes destinées à faciliter les calculs.

Extrait de la Préface.

Cet Ouvrage est extrait des conférences que j'ai faites à l'Université de Strasbourg, de 1901 à 1903, après avoir poursuivi pendant une année l'étude de la T. S. F. d'après le système du D^r Braun, aux environs de Cuxhaven, et avoir eu l'occasion d'apprendre à connaître la pratique de la T. S. F.

Mes auditeurs étaient, pour la plupart, des étudiants en Mathématiques et sciences physiques, quelques agrégés, techniciens et chimistes. Cet Ouvrage fut fait pour cet auditoire.

Dans l'exposé, je me suis appliqué principalement à faire ressortir clairement les principes de Physique.

J'ai recherché tout spécialement la clarté. Malgré leur simplicité, je n'ai eu qu'exceptionnellement recours aux analogies mécaniques. Par un usage trop fréquent de celles-ci, on peut craindre que le lecteur ne croie avoir parfaitement compris un phénomène électromagnétique, s'il découvre une analogie plus ou moins frappante, et qu'il ne se dispense d'un examen approfondi du phénomène électromagnétique considéré. Il me semble plus important de forcer le lecteur à se représenter clairement les actions électromagnétiques elles-mêmes et leurs lois, et à se créer peu à peu, si je puis m'exprimer ainsi, une manière de voir électromagnétique.

Dans mes conférences, je faisais de nombreuses expériences qui, dans cet Ouvrage, sont remplacées par des figures et un texte explicatif.

Dans le cas des courants alternatifs techniques, les dispositifs que j'indique pourront paraître un peu primitifs au technicien, habitué à réaliser ces expériences avec des appareils techniques. Ces dispositifs montrent néanmoins que, sans ces appareils, on peut vérifier les lois principales des courants alternatifs.

Dans le cas des oscillations rapides, les phénomènes relatifs à la T. S. F. sont étudiés à fond. Le but principal de cet Ouvrage est l'étude des principes physiques de cette branche de la technique. Dans les Chapitres sur la T. S. F., les questions principales et les dispositifs sont plus spécialement étudiés.

Le système de mesure devait satisfaire à deux conditions. Il devait conserver la symétrie qui existe entre les grandeurs électriques et magnétiques, faire ressortir franchement ce qui a trait aux oscillations électromagnétiques. Il devait permettre, en outre, de passer simplement au système électromagnétique C. G. S. et au système de mesure pratique. La première condition interdit l'emploi général du système C. G. S., la deuxième celui du système utilisé par H.-A. Lorentz dans l'*Encyclopédie des Sciences mathématiques*. J'ai donc suivi la méthode de E. Cohn : dans les formules générales, n'introduire aucun système de mesure déterminé, mais mettre ces formules sous une forme qui permette le passage à un système quelconque de mesure. Si, de plus, on libère les formules générales des facteurs inutiles et qu'on leur donne une forme très simple et très claire, elles pourront être applicables dans des cas de technique.

Cette condition m'a conduit à employer, comme dans les ouvrages techniques, le système C. G. S. ou le système de mesure pratique quand je voulais faire des applications numériques. Dans les notations, j'ai suivi l'Ouvrage de E. Cohn. Ces notations sont très simples et conservent l'analogie entre les grandeurs électriques et magnétiques.

Table des Matières du Tome I.

Avertissement. — Préface de l'Auteur. — Notations. — CHAP. I. *Etude du champ électromagnétique*. Les grandeurs des champs électrique et magnétique. Détermination expérimentale de l'intensité du champ. Représentation graphique de l'intensité d'un champ. Champ statique dans un milieu homogène. Champ statique dans un milieu non homogène. Le courant électrique. Champ magnétique et courant électrique. Relation entre un champ électrique et un champ magnétique. L'énergie du champ électromagnétique. Production de travail mécanique par le déplacement d'un circuit dans un champ homogène. — CHAP. II. *Généralités sur les oscillations magnétiques*. Excitation schématisée d'une oscillation électromagnétique. Eléments d'une oscillation électromagnétique. Etude expérimentale d'une oscillation électromagnétique. Représentation graphique par un vecteur-diagramme. Généralités sur les grandeurs oscillatoires. Produit de deux grandeurs oscillatoires. — CHAP. III. *Production d'oscillations électromagnétiques lentes*. Machine à courant alternatif et alternateur à courant triphasé. Généralités sur les machines à courant alternatif et les alternateurs à courant triphasé. Machines à induit ou à inducteur mobile. Machines à enroulement induit et inducteurs fixes. — CHAP. IV. *Circuit de courant alternatif quasi stationnaire à faible fréquence*. Courant et champ magnétique d'un circuit de courant alternatif. Relation entre le courant électrique et la FEM ou la tension. Relations relatives à l'énergie. Résistances inductives avec noyau de fer et leur utilisation pratique. — CHAP. V. *Circuit magnétique de faible fréquence*. Relations relatives au flux magnétique. Généralisation. Cylindre métallique dans un champ magnétique alternatif. — CHAP. VI. *Les transformateurs techniques*. Le transformateur à vide. Le transformateur en charge. Dispersion des transformateurs. Construction technique des transformateurs. Transformateurs à une seule bobine. — CHAP. VII. *Production de travail mécanique par les courants alternatifs et triphasés*. Circuit de courant alternatif dans un champ magnétique constant. Moteurs synchrones. Circuit de courant alternatif dans un champ magnétique alternatif de même fréquence. Le champ tournant magnétique. Moteurs à courant triphasé. Moteurs monophasés à induit en court-circuit. — CHAP. VIII. *Circuit de courant alternatif avec condensateurs*. Circuit à condensateur sans induction. Circuit à condensateur avec self-induction. Condensateur et résistance inductive associés en quantité. — CHAP. IX. *Oscillations propres des circuits à condensateur*. Preuve expérimentale des oscillations propres. Fréquence pour les faibles résistances. L'amortissement. Flux d'énergie. — CHAP. X. *Les circuits à courant alternatif quasi stationnaire de haute fréquence*. Distribution du courant dans les conducteurs cylindriques. Résistance et coefficient de self-induction pour les oscillations rapides. Indications des thermiques pour les oscillations amorties. Relation entre le courant et la FEM ou la tension dans les circuits sans condensateur. Relation entre le courant et la tension dans les conducteurs avec condensateurs. — CHAP. XI. *Le circuit magnétique à haute fréquence*. Action des bobines et des tubes conducteurs. Influence des plaques et des cylindres conducteurs. Action des isolants dans le champ magnétique oscillatoire. — NOTES.

Table des Matières du Tome II.

CHAP. XII. *Oscillations propres des oscillateurs ouverts*. Le courant. Le champ électrique à la surface des oscillateurs. Fréquence des oscillations propres des oscillateurs ouverts. Amortissement des oscillateurs ouverts. — CHAP. XIII. *Action d'une oscillation non amortie sur un oscillateur*. Influences des oscillations propres. Cas général. Influence des oscillations propres. Résonance. Courbes de résonance. — CHAP. XIV. *Système couplé. Couplage très lâche*. Influence d'un oscillateur sur un circuit fermé. Influence d'un oscillateur sur un autre pour un couplage très lâche. Courbes de résonance dans l'action d'un oscillateur sur un autre. Démonstration et emploi expérimental de la résonance. — CHAP. XV. *Système couplé. Cas général*. Couplage d'un oscillateur et d'un circuit fermé. Influence d'un oscillateur sur un autre dans le cas d'un couplage lâche. Deux oscillateurs en couplage serré. — CHAP. XVI. *Propagation des ondes magnétiques dans les cylindres de fer*. Généralités sur la propagation des ondes. Relations des ondes magnétiques dans les cylindres de fer. Application pratique. — CHAP. XVII. *Ondes électromagnétiques le long des fils*. Propagation des ondes. Ondes stationnaires. — CHAP. XVIII. *Production d'ondes électromagnétiques dans l'air*. Les ondes de l'oscillateur de Hertz. L'oscillateur linéaire. Oscillateurs rayonnants et non rayonnants. — CHAP. XIX. *Détecteurs d'ondes électromagnétiques*. Détecteurs thermiques. Détecteurs magnétiques. Décharge dans les gaz. Contacts imparfaits. Cohéreurs. Détecteurs électrolytiques. Détecteurs par effet Edison. — CHAP. XX. *Les émetteurs en télégraphie sans fil*. L'émetteur de Marconi. Le dispositif de Braun. Appareils auxiliaires. Dispositifs particuliers. — CHAP. XXI. *Les récepteurs en télégraphie sans fil*. Le système récepteur simple. Appareils auxiliaires. Système couplé. Considérations générales. — CHAP. XXII. *Propriétés des ondes électromagnétiques*. Ondes planes dans un milieu homogène. Ondes planes à la surface de séparation de deux milieux homogènes. Représentation expérimentale des propriétés des ondes électromagnétiques. Les ondes lumineuses considérées comme ondes électromagnétiques. — NOTES.

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

POUR LA **PUBLICITÉ** S'ADRESSER A
M. CH. TESSIER

Agent administratif de la Société.

Paris. — 12 & 14, rue de Staël. — Paris.

TÉLÉPHONE N° 708-68

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Grands-Augustins, 55, à Paris (6°).

Envoi franco dans toute l'Union postale contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

**COURS ÉLÉMENTAIRE
D'ÉLECTRICITÉ**

COIS EXPÉRIMENTALES ET PRINCIPES GÉNÉRAUX. INTRODUCTION A L'ÉLECTROTECHNIQUE
LEÇONS PROFESSÉES A L'INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD DE LA FRANCE.

Par **Bernard BRUNHES**,

Docteur ès Sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

GEOFFROY & DELORE

Téléph. 1^{re} ligne : 503-71.

28, rue des Chasses, à CLICHY (Seine).

Téléph. 2^e ligne : 588-81.

GRANDS PRIX :

BRUXELLES.....	1897	HANOI.....	1903
PARIS.....	1900	LIÈGE.....	1905
MARSEILLE. 1908.	— HORS CONCOURS.		



CABLES & FILS ISOLES

pour toutes les applications de l'électricité.

Système complet de canalisations pour courant continu, alternatif, triphasé pour tensions de 30 000 volts comprenant les câbles conducteurs, les boîtes de jonctions, de branchements, d'abonnés, d'interruption, etc., etc. De très importants réseaux de câbles souterrains armés de notre système fonctionnant à 30 000, 15 000, 13 500, 10 000, 5 000 volts et au-dessous sont actuellement en marche normale. Des références sont envoyées sur demande.

COMPAGNIE FRANÇAISE POUR L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS

THOMSON-HOUSTON

Téléphone :

158.41 — 158.81

PARIS. — 10, rue de Londres, 10. — PARIS.

Adresse Télégraphique

ELIHU, PARIS

**TRACTION ÉLECTRIQUE — ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE
TRANSPORT DE FORCE — APPAREILS DE MINES**

Ateliers de Construction : 41, rue des Volontaires, PARIS

Diplôme d'honneur, Exposition intern^{le} d'Electricité, Paris 1881. Hors concours, membre du Jury à l'Exposition intern^{le} de 1889.

MAISON BREQUET

Fondée en 1783. — Société anonyme au capital de 4.000.000 de francs
PARIS. — 19, rue Didot. — PARIS.

APPLICATIONS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTRICITÉ

Courant continu. — Courants alternatifs.

DYNAMOS A COURANT CONTINU DE TOUTES PUISSANCES

ALTERNATEURS COMPOUND SYSTÈME BOUCHEROT

à courant alternatif simple et à courants polyphasés pour éclairage et transmission de force.

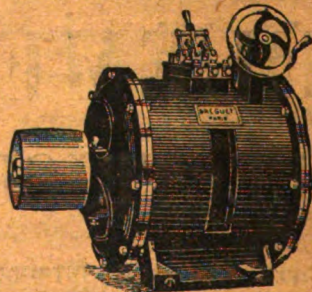
MOTEURS ASYNCHRONES

Système Boucherot

Ni collecteur

Ni balais

**Ni accessoires
de démarrage.**



A COURANTS POLYPHASÉS

Breveté S. G. D. G.

Démarrage direct en charge.

**Le courant de démarrage
est proportionnel**

au couple moteur développé.

Turbines Breguet à disques de Laval de 5 à 9000 chevaux

Turbines dynamos. — Turbines motrices. — Turbines pompes. — Turbines ventilateurs.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES NAVIRES

Projecteur à miroir parabolique, breveté S. G. D. G. — Lampe mixte horizontale, brevetée S. G. D. G.

APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES. — APPAREILS TÉLÉPHONIQUES.





